

# OVERZICHT DER GETIJLEER

## TEN DIENSTE DER HYDROGRAFISCHE OPNEMING

UITGEGEVEN DOOR HET MINISTERIE VAN MARINE

[illegible]

# OVERZICHT DER GETIJLEER

MINISTERIE VAN MARINE 

AFDELING HYDROGRAFIE

# OVERZICHT DER GETIJLEER

## TEN DIENSTE DER HYDROGRAFISCHE OPNEMING

AUTEURSRECHTEN ZIJN VOORBEHOUDEN
TEN BEHOEVE VAN DE
STAAT DER NEDERLANDEN

PRIJS f 12.—

STAATSDRUKKERIJ / 'S-GRAVENHAGE 1949

# VOORBERICHT

Gewijzigde inzichten in de analyse der getijden en de zich steeds uitbreidende literatuur over de getijleer, welke literatuur ten dele zeer uitvoerig is, ten dele bestaat uit tijdschriftartikelen, waarvan verscheidene moeilijk en vaak slechts ter raadpleging verkrijgbaar zijn, maakten het wenselijk hetgeen van die leer voor de zeeofficieren, welke belast zijn met de hydrografische opnemingen in Nederland en in de Overzeese Gebiedsdelen, meer bepaaldelijk van belang is, in een studie te verenigen.

In verband met dit doel is de uitvoerigheid, waarmede de getijleer behandeld is, niet overal gelijk, doch is er naar gestreefd de wijze van behandeling aan te passen aan de behoefte der opneming. Uit dien hoofde is o.a. de berekening van getijconstanten uit jaarwaarnemingen slechts aangeroerd, daarentegen veel werk gemaakt van de benadering dier constanten uit korte waarnemingsreeksen, zoals op de opnemingsvaartuigen uitsluitend plaats heeft.

Veel van hetgeen in de studie voorkomt is overgenomen uit geraadpleegde bronnen, waarbij, wat betreft de analyse der getijbeweging, de methode gevolgd is zoals beschreven in „Admiralty manual of tides" door A. T. Doodson en H. D. Warburg.

Tenslotte zij opgemerkt, dat deze studie door verschillende medewerkers is samengesteld, waarbij in het bijzonder genoemd moge worden de heer J. van Roon, die zo welwillend is geweest de hoofdstukken I t/m IV, VIII en IX nagenoeg geheel te verzorgen. Het overige gedeelte werd samengesteld door diverse functionarissen van de Afdeling Hydrografie van het Ministerie van Marine. Aan een gedeeltelijke overlapping bij de behandeling van enkele onderwerpen is daardoor niet te ontkomen geweest.

# INHOUD

*Opmerking*: De hoofdstukken, paragrafen, figuren en formules zijn als volgt genummerd:

Hoofdstukken: in Romeinse cijfers, dus b.v. „IV".

Paragrafen en figuren: per hoofdstuk doorlopend genummerd, voorafgegaan door het nummer van het hoofdstuk, beide in Arabische cijfers. Verwijzing naar nummers van paragrafen en figuren worden steeds voorafgegaan door respectievelijk „par." en „fig.".
Zo betekent „par. 3.6" dus hoofdstuk III paragraaf 6 en „fig. 3.6" hoofdstuk III de zesde figuur, welke geenszins in paragraaf 6 behoeft te staan.

Formules: per paragraaf doorlopend geletterd (voorafgegaan door nummer paragraaf) en tussen haakjes vermeld. Zo betekent „(5.1 d)" dus hoofdstuk V paragraaf 1 vierde formule.

IV. Berekening van het getijverloop



V. Getijtafels Rijkswaterstaat



VI. Reductievlak en aanverwante onderwerpen

## VII. Instrumenten



## VIII. Getijgolven



## IX. De getijden der oceanen



## X. Voorbeelden



## XI. Tafels

## XII. Verklarende woordenlijst

# I. DE GETIJKRACHTEN

## 1.1 Historisch overzicht

De periodieke waterbeweging, die aan de kusten gepaard gaat met hoog- en laagwater en met stromen van wisselende werking en kracht, gaf reeds in oude tijden aanleiding tot verschillende theorieën. Deze theorieën kan men buiten beschouwing laten sedert Sir Isaäc Newton (1642—1727) het getijverschijnsel in verband bracht met de algemene gravitatiewet, die zijn naam draagt.

Hij vond, dat zon en maan aanleiding geven tot het ontstaan van een krachtenveld rond de aarde, waarbij richting en grootte van de krachten periodiek wisselen. Om hieruit te komen tot een verklaring van de getijbeweging nam hij aan, dat de aarde gelijkmatig bedekt was met een diepe zee en dat op elk ogenblik het wateroppervlak zich zo stelde, dat in elk punt van dit oppervlak de resultante der werkende krachten loodrecht staat op het wateroppervlak. Deze toestand is die, waarbij men zich momenteel de watermassa in rust denkt onder invloed van de werkende krachten, en geeft dus een evenwichtstoestand aan. Vandaar dat deze opzet bekend is als de *evenwichtstheorie* of *statische theorie*.

Doordat de standen van de maan en de zon veranderen ten opzichte van het meridiaanvlak van een plaats op aarde, zullen voor deze plaats richting en grootte van de getijverwekkende krachten veranderen, waardoor het evenwichtsoppervlak t.o.v. de aardoppervlakte van stand verandert en dus het wateroppervlak periodieke veranderingen verkrijgt.

Newton zag wel in, dat de feitelijke getijbeweging niet geheel verklaard zou kunnen worden door de evenwichtstheorie; de wisselende krachten zullen waterbewegingen veroorzaken, waarvan de grootte afhangt van de waterdiepte.

Men kwam dus wel tot een qualitatieve verklaring van de getijbeweging, doch niet tot een quantitatieve. De periodieke bewegingen, die de evenwichtstheorie gaf, komen ook voor in de werkelijke getijbeweging. De amplituden dier bewegingen kan men echter niet met behulp van de evenwichtstheorie afleiden.

De Franse wiskundige Laplace (1749—1827) vatte het getijprobleem op als een dynamisch vraagstuk: door de wisselende getijkrachten ontstaan bewegingen. Hij formuleerde de bewegingsvergelijkingen voor getijden op een roterende aarde en werd de grondlegger van de *dynamische theorie* der getijden.

De oplossing van deze vergelijkingen geeft grote moeilijkheden.

Alleen door het invoeren van bepaalde vereenvoudigingen konden oplossingen worden gevonden.

Laplace nam aan, dat de aarde geheel bedekt was met water, waarbij de waterdiepte afhangt van de breedte.

Het aannemen van een geheel met water bedekte aarde geeft ook zijn uitkomsten een hypothetisch karakter.

Laplace splitste de getijbeweging in soorten: dubbeldaagse en enkeldaagse bewegingen en bewegingen met lange perioden.

Laplace gaf een grondstelling, die nog steeds als basis geldt voor beschouwingen betreffende getijbeweging n.l.:

Wanneer op een watermassa periodieke krachten werken, zal op den duur de beweging periodiek zijn en dezelfde periode vertonen als de krachten.

Dit is dan ook de basis van de *harmonische analyse*, die omstreeks 1867 door Lord Kelvin (1824—1907) werd ingevoerd en verder ontwikkeld werd door Sir George Darwin (1845—1912).

De harmonische analyse gaat uit van het feit, dat de getijkrachten kunnen ontleed worden in harmonische functies, d.w.z. in vormen van de gedaante H cos x, waarin x een hoek is, die eenparig met de tijd verandert (de *phase* van de harmonische functie). Is de periode van deze functie T, dan doorloopt x in die tijd 360°. Aan de hand van de grondstelling van Laplace moet nu een beweging ontstaan, waarvoor geldt: uitwijking uit gemiddelde stand = A cos x', waarin x' eveneens in het tijdsverloop T 360° verandert; x en x' zullen dan een vast bedrag verschillen.

Men tracht nu de getijbeweging, die op een bepaalde plaats wordt waargenomen, te splitsen in verschillende harmonische bewegingen met dezelfde perioden als de getijkrachten. Is dit gelukt, dan kan men voor elk A (amplitude) en het verschil x — x' bepalen.

De harmonische analyse geeft dus *geen verklaring* van de getijbeweging, doch ontleedt of analyseert de beweging op een bepaalde plaats, zodat men in staat is voor toekomstige tijdstippen de getijbeweging te berekenen.

Om het getij vooruit te berekenen zijn ook andere methoden gegeven (de z.g. niet-harmonische methoden). Een der grondleggers van deze methoden was Sir John Lubbock (1803—1865). Vooral voor plaatsen, waar de getijbeweging het karakter heeft van die in Noordzee en Engels Kanaal, worden de niet-harmonische methoden veel toegepast.

De theorieën van Newton en Laplace gaven geen verklaringen van bepaalde getijbewegingen, die men in verschillende zeegebieden waarneemt.

Zo zal b.v. bij de theorie van Laplace het getij zich voordoen als een golfbeweging, die zich ongehinderd van Oost naar West over de aarde voortplant. In werkelijkheid zal deze ongehinderde golfbeweging niet kunnen bestaan: de getijgolf treft kusten en wordt teruggekaatst. Er ontstaat dus interferentie met de oorspronkelijke golf. Het onregelmatig verloop van kustlijnen zal een ingewikkelde interferentie kunnen geven. Hoe echter deze interferentie verloopt, de *periode* van de beweging blijft dezelfde. Tijden van hoog- en laagwater, van maximum stroomsterkte en van stroomkentering, amplituden van verticale beweging en van stroom komen dan niet meer overeen met die, welke volgen uit de beschouwing van een oceaan, die de gehele aarde bedekt.

Een volledige afleiding van de getijbeweging uit de getijkrachten is meestal niet mogelijk, daar de ongelijkmatige diepte en de willekeurige begrenzingen van zeegebieden een wiskundige beschouwing zeer moeilijk maken.

Men heeft, hoewel daarbij restricties zijn ingevoerd, die niet geheel met de werkelijkheid overeenstemmen, toch belangrijke conclusies kunnen trekken, die een verklaring geven van verschillende anomalieën.

Gewezen wordt op de onderzoekingen van Airy, Ferrell, Harris, Sterneck, Thorade, Defant, Doodson, Proudman e.a., waarvan op verschillende plaatsen in dit werk gebruik zal worden gemaakt.

Hoewel de evenwichtstheorie van Newton niet de werkelijke beweging in een bepaald gebied kan geven, wordt deze theorie toch verder uitgewerkt om te komen tot zuiver harmonische bewegingen.

In de werkelijke beweging komen bewegingen voor met dezelfde perioden als

in de evenwichtstheorie. Deze bewegingen zullen dan met die van de evenwichtstheorie een constant bedrag in phase verschillen.

De phasen van de periodieke bewegingen van de evenwichtstheorie beschouwt men dus als standaardwaarden, waarmede de phasen van het werkelijke getij worden vergeleken.

### 1.2 De getijverwekkende kracht

Volgens de gravitatiewet van Newton trekken twee stoffelijke punten elkander aan met een kracht, die evenredig is met de massa's dier punten en omgekeerd evenredig is met het kwadraat van hun afstand.

Zijn dus de massa's respectievelijk m en m', de afstand d, dan is de kracht waarmede de punten elkander aantrekken $K = f\,\frac{mm'}{d^2}$.

f is hier de waarde van K als beide massa's gelijk zijn aan de eenheid van massa en d de eenheid van afstand is. Deze waarde f heet de gravitatieconstante.

Beschouwt men twee bollen opgebouwd uit concentrische homogene lagen, dan blijkt de kracht, waarmede zij elkander aantrekken, evenredig te zijn met hun massa's en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand van hun middelpunten.

Twee hemellichamen, die men beschouwt als bollen, zullen op elkander een kracht uitoefenen, waardoor zij een baan beschrijven om hun gemeenschappelijk zwaartepunt.

Zijn de massa's van aarde en maan respectievelijk A en M en is d de afstand der middelpunten van aarde en maan, dan is de onderlinge aantrekkingskracht $K = \frac{f\,AM}{d^2}$.

De aarde verkrijgt door deze kracht een versnelling $\frac{f\,M}{d^2}$. Deze versnelling is dan die, welke nodig is om de aarde een baan te doen beschrijven om het zwaartepunt van het stelsel aarde—maan.

Veronderstelt men de aarde als een volkomen vast lichaam, dat door de aantrekking van de maan geen vormverandering verkrijgt, dan hebben alle punten van de aarde dezelfde versnelling als het middelpunt van de aarde.

In fig. 1.1 is O het middelpunt van de aarde, $O_1$ dat van de maan. De aarde verkrijgt door de aantrekking van de maan een versnelling aangegeven door de vector a. Het vaste punt A van de aardoppervlakte verkrijgt dezelfde versnelling a.

Een punt, dat zich in A vrij over de aarde kan bewegen, verkrijgt echter een versnelling b, die bepaald is door $b = \frac{fM}{{d_1}^2}$ waarbij $d_1 = AO_1$.

De versnelling b kan men ontbinden in een component a en een component c. De versnelling a is dezelfde als die van het vaste punt van de aardoppervlakte waarboven zich het beweeglijke punt bevindt en zal dus de stand van dit punt ten opzichte van de aardoppervlakte niet veranderen. Door deze component kan dus geen beweging t.o.v. de aarde ontstaan.

De component c echter zal de oorzaak zijn, dat het vrije punt t.o.v. de aarde een beweging verkrijgt.

De vector c heet de getijverwekkende versnelling. Daar een versnelling dezelfde getalwaarde heeft als de kracht per massa-eenheid, geeft men c ook wel aan als de

*getijverwekkende kracht* of kortweg getijkracht in A, waarbij dan bedoeld wordt per massa-eenheid.

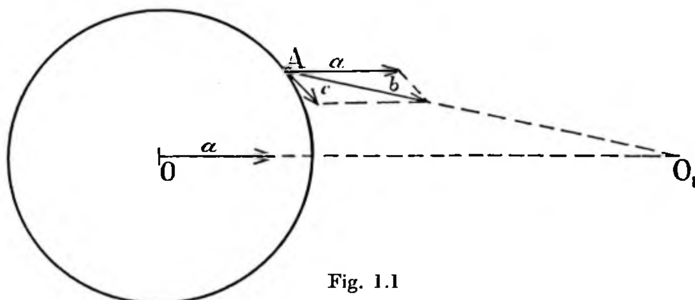



Fig. 1.1

Om tot een denkbeeld van de grootte-orde van de getijkracht te komen, vergelijkt men deze met de zwaartekracht, d.i. de aantrekkingskracht, die de aarde uitoefent op een stoffelijk punt op de aardoppervlakte.

De kracht per massa-eenheid door de zwaartekracht is bepaald door de waarde g (versnelling zwaartekracht = 9,8 m/sec²).

Afgezien van de afplatting en de rotatie van de aarde is $g = \frac{fA}{r^2}$.

$\frac{fM}{d^2}$ kan men dus schrijven als $\frac{Mr^2}{Ad^2}$ g.

Nu is $\frac{A}{M} = 81{,}53$ en $\frac{d}{r}$ gemiddeld 60,26.

De kracht per eenheid van massa, aangegeven door de vector a, is dan 0,000 003 378 g.

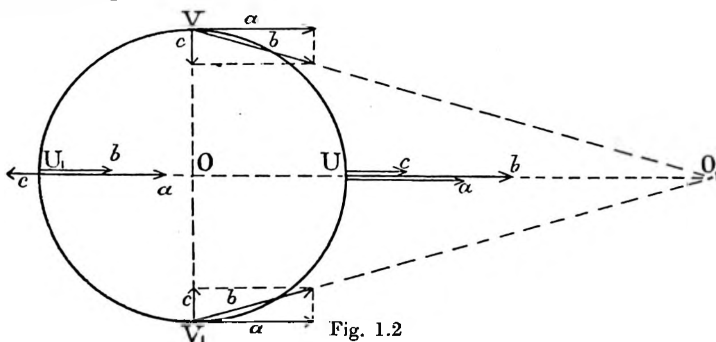



Fig. 1.2

In het punt U (fig. 1.2) waar de maan in top staat is d = 59,26 r en wordt b = 0,000 003 493 g.

De getijkracht c is daar het verschil van a en b en heeft de richting van a en van b. De grootte van c is dus 0,000 000 115 g.

In het punt $U_1$, waar de maan in het voetpunt staat, is d = 61,26 r en wordt b = 0,000 003 268 g.

De getijkracht c is ook daar het verschil van a en b, doch heeft een richting tegengesteld aan a en b. De grootte van c is daar 0,000 000 110 g.

In de punten V en $V_1$ is b praktisch gelijk aan a. De vector c ontstaat nu door het richtingsverschil van a en b.

Uit de figuur blijkt c : a = r : d, zodat $c = \frac{r}{d} \times a$ = 0,000 000 056 g.

In de punten U, $U_1$, V en $V_1$, die boven zijn beschouwd, valt de getijkracht steeds in een richting loodrecht op de aardoppervlakte.

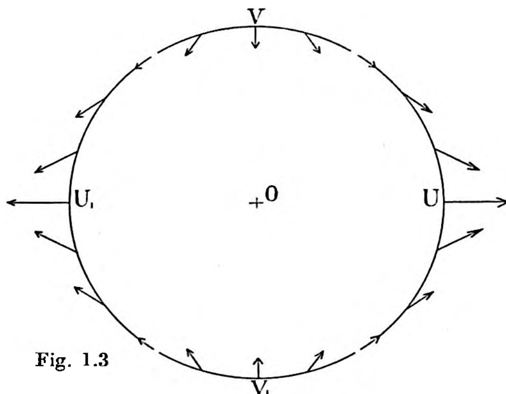



Fig. 1.3

Beschouwt men tussengelegen punten, dan is de getijkracht niet loodrecht op de aardoppervlakte. Voert men de constructie voor de vector c uit voor verschillende punten, dan ontstaat het beeld van fig. 1.3.

De grootte van de getijkracht varieert hierbij van een maximum in U tot een minimum in V en $V_1$ en een tweede maximum in $U_1$.

Ontbindt men in elk punt de getijkracht in een component langs de aardoppervlakte en een loodrecht daarop, dan zal de verticale component variëren van 0,000 000 115 g omhoog tot 0,000 000 056 g omlaag en dus t.o.v. de zwaartekracht een te verwaarlozen bedrag hebben. Deze component zal minimale wijzigingen van de zwaartekracht veroorzaken, die geen belang hebben voor de verdere beschouwingen.

Het grootste verschil in de waarden van de zwaartekracht, veroorzaakt door de verticale component van de getijkracht, is 0,000 000 171 g.

Wanneer dus de aarde bedekt was door een overal even diepe zee, waar de druk op de bodem overal dezelfde was, dan zou de wijziging van g ten gevolge hebben, dat de waterdiepte op de plaats waar g het kleinst is 0,000 000 171 × groter werd

dan op de plaats waar g het grootst is. Zelfs bij een waterdiepte van 5000 m geeft dit geen groter verschil dan 0,8 mm.

De horizontale component van de getijkracht is weliswaar van dezelfde grootte-orde als de verticale, doch zal aanleiding geven tot horizontale bewegingen van de watermassa's op aarde, die men aangeeft als getijbewegingen.

Bepaalt men de grootte van de horizontale componenten niet alleen in het vlak van tekening van de figuren 1.1, 1.2 en 1.3, doch over de gehele aardoppervlakte, dan geeft fig. 1.4 een beeld van het verloop der krachten.

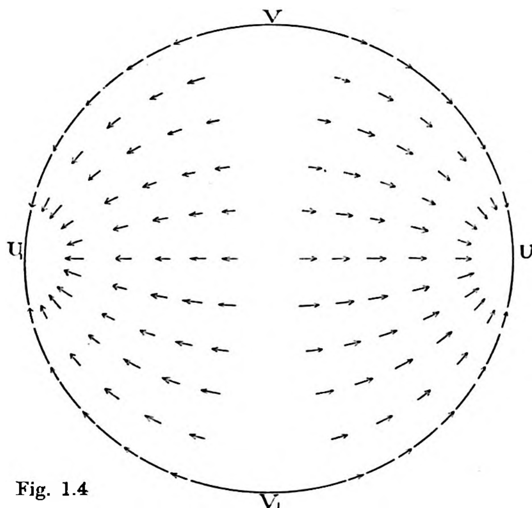



Fig. 1.4

De horizontale component van de getijkracht (kortweg de horizontale getijkracht) valt overal in het vlak door de aardstraal van de plaats en de lijn middelpunt aarde—middelpunt maan en is nul in het punt U waar de maan in top staat, in het punt $U_1$ waar de maan in het voetpunt staat en in de punten op 90° van de punten U en $U_1$. De horizontale getijkracht is dus nul, als de topsafstand van de maan 0°, 90° of 180° is.

Voor de punten, waar de maan boven de horizon staat, valt de horizontale getijkracht in de richting van de aardse projectie van de maan, dus in de richting van het azimuth van de maan, terwijl voor de punten, waar de maan beneden de horizon staat, de horizontale getijkracht valt in de richting van het tegenpunt van de aardse projectie.

De horizontale getijkracht zal door de verandering van topsafstand en azimuth van de maan continu van richting en grootte veranderen en daardoor de oorzaak zijn van horizontale waterbewegingen.

Daar de getijkrachten bij het roteren van de aarde periodiek veranderen, zal ook de resulterende waterbeweging periodiek zijn.

Periodieke waterbewegingen geven in het algemeen aanleiding tot golfbewegingen, zodat naast horizontale bewegingen ook verticale zullen voorkomen.

Hoe deze bewegingen in een bepaald zeegebied zullen verlopen, zal geheel afhangen van waterdiepte en begrenzing van dit gebied.

## 1.3 Mathematische afleiding van de grootte van de horizontale en de verticale getijkracht

Om tot een formule te komen voor de grootte van de horizontale en de verticale component van de getijkracht beschouwe men fig. 1.5.

In deze figuur zijn de krachtvectoren a, b en c van de figuren 1.1 en 1.2 weder aangegeven.

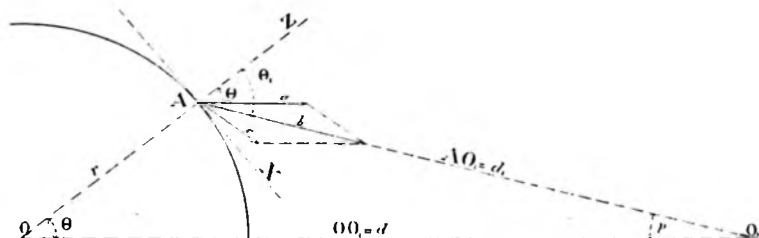


Fig. 1.5

De horizontale getijkracht is nu de projectie van c op het vlak door A loodrecht op de aardstraal van A, de verticale getijkracht is de projectie van c op OA.

Algemeen geldt nu voor projecties op een willekeurige lijn: projectie van b = projectie van a + projectie van c, zodat de horizontale component H volgt uit

$$H = b \sin \Theta_1 - a \sin \Theta$$

en de verticale V uit

$$V = b \cos \Theta_1 - a \cos \Theta$$

waarbij $\Theta$ de hoek is tussen OZ en $OO_1$, $\Theta_1$ de hoek tussen OZ en $AO_1$.

Is $\angle AO_1O = p$ dan is $\Theta_1 = \Theta + p$ en

$$H = \frac{Mr^2}{Ad_1^2} g \sin (\Theta + p) - \frac{Mr^2}{Ad^2} g \sin \Theta$$

$$V = \frac{Mr^2}{Ad_1^2} g \cos (\Theta + p) - \frac{Mr^2}{Ad^2} g \cos \Theta$$

Nu is $d_1 \sin (\Theta + p) = d \sin \Theta$

$d_1 \cos (\Theta + p) = d \cos \Theta - r$, waarmede dan

$$H = \frac{Mr^2}{A} g \left[\frac{d\sin\Theta}{d_1^3} - \frac{\sin\Theta}{d^2}\right]$$

$$V = \frac{Mr^2}{A} g \left[\frac{d\cos\Theta - r}{d_1^3} - \frac{\cos\Theta}{d^2}\right]$$

Verder is $d_1^2 = d^2 + r^2 - 2dr\cos\Theta$

$$= d^2\left[1 - \frac{2r}{d}\cos\Theta + \frac{r^2}{d^2}\right], \text{ waaruit}$$

$$\frac{1}{d_1^3} = \frac{1}{d^3}\left[1 - \frac{2r}{d}\cos\Theta + \frac{r^2}{d^2}\right]^{-\frac{3}{2}}$$

Nu geldt voor $x < 1$, voor alle waarden van $x$,

$$(1 + x)^n = 1 + \frac{n}{1}x + \frac{n(n-1)}{1.2}x^2 + \ldots$$

$\frac{r}{d}$ is van de grootte-orde $\frac{1}{60}$, zodat met verwaarlozing van termen van de grootte-orde $\left(\frac{1}{60}\right)^2$

$$\left[1 - \frac{2r}{d}\cos\Theta + \frac{r^2}{d^2}\right]^{-\frac{3}{2}} = 1 - \frac{3}{2}\left(-\frac{2r}{d}\cos\Theta + \frac{r^2}{d^2}\right)\ldots.$$

$$= 1 + \frac{3r\cos\Theta}{d}$$

Dit ingevoerd in de gevonden betrekkingen geeft:

$$H = \frac{Mr^2}{Ad^3} g \left[d\sin\Theta\left(1 + \frac{3r\cos\Theta}{d}\right) - d\sin\Theta\right]$$

$$= \frac{Mr^2}{Ad^3} g \times 3r\sin\Theta\cos\Theta = \frac{3}{2}\frac{Mr^3}{Ad^3} g\sin 2\Theta \tag{1.3a}$$

$$V = \frac{Mr^2}{Ad^3} g \left[(d\cos\Theta - r)\left(1 + \frac{3r\cos\Theta}{d}\right) - d\cos\Theta\right]$$

$$= \frac{Mr^2}{Ad^2} g \left[\left(\cos\Theta - \frac{r}{d}\right)\left(1 + \frac{3r\cos\Theta}{d}\right) - \cos\Theta\right]$$

of met verwaarlozing van $\left(\frac{r}{d}\right)^2$ in de vorm tussen []

$$V = \frac{3Mr^3}{Ad^3} g \left[\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right] \tag{1.3b}$$

Op dezelfde wijze komt men tot getijkrachten veroorzaakt door de zon. Voor de zon geldt

$$H = \frac{3}{2}\frac{Sr^3}{AD^3} g \sin 2\Theta, \qquad V = \frac{3\,Sr^3}{AD^3} g\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right)$$

waarin S de massa van de zon, D de afstand middelpunt aarde—middelpunt zon, en $\Theta$ = topsafstand van de zon.

Met $\frac{S}{A} = 332000$, $\frac{r}{D} = \frac{1}{23400}$ wordt de factor $\frac{Sr^3}{AD^3} = 0{,}000\,000\,025\,69$ g, terwijl voor de maan $\frac{Mr^3}{Ad^3}$ de waarde 0,000 000 055 82 g heeft.

De getijkrachten van zon en maan verhouden zich dus als 2569 : 5582 d.i. als 0,46 : 1 of 1 : 2,18.

Hoewel de massa van de maan veel kleiner is dan die van de zon, blijkt de grotere parallax van de maan de oorzaak te zijn, dat de getijkrachten door de maan veroorzaakt van meer belang zijn dan die door de zon.

### 1.4 Potentiaal van getijkracht en zwaartekracht. Potentiaalvlak

De getijkrachten en de zwaartekracht in een bepaald punt hangen af van de ligging van het beschouwde punt t.o.v. het middelpunt der aarde. Wanneer een massapunt zich verplaatst onder de invloed van deze krachten, verrichten deze krachten arbeid. Zowel voor de getijkrachten als voor de zwaartekracht geldt, dat bij een verplaatsing zodanig, dat men weer in hetzelfde punt terugkomt, de totale arbeid nul is; er is dan evenveel positieve als negatieve arbeid verricht.

De arbeid, die verricht wordt als de massaeenheid is verplaatst van uit het punt, waar de kracht nul is, tot een bepaald punt, heet de potentiaal voor dit punt.

De getijkracht is nul in het middelpunt der aarde. De potentiaal voor een punt op afstand r van het middelpunt der aarde is dan gelijk aan de arbeid door de component V van de getijkracht verricht om de massaeenheid van O (fig. 1.5) naar A te brengen. Bij deze verplaatsing verricht de component H, die loodrecht staat op de afgelegde weg, geen arbeid.

De door V verrichte arbeid is $\int_0^r V dr$ .

In de voor V gevonden waarde $\frac{3Mr^3}{Ad^3} g\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right)$ hangt g af van r; $g = \frac{fA}{r^2}$.

Voert men deze waarde voor g in, dan wordt

$$\int_0^r V dr = \int_0^r \frac{3\,fM}{d^3} r \left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right) dr = \frac{3\,fMr^2}{2d^3}\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right)$$

(de potentiaal van de getijkracht)

De zwaartekracht, die bepaald is door $g = \frac{fA}{r^2}$ is nul als r oneindig groot is.

Omdat bij de verplaatsing vanuit het oneindige r afneemt, moet in $\int$ gdr, dr negatief worden genomen en wordt dus de potentiaal van de zwaartekracht

$$\int_{\infty}^{r} -\frac{fA}{r^2}\,dr = \frac{fA}{r}.$$

De totale potentiaal van getijkracht en zwaartekracht is nu bepaald door de functie

$$\Phi = \frac{3\,fMr^2}{2d^3}\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right) + \frac{fA}{r} \qquad \textbf{(1.4a)}$$

De potentiaal $\Phi$ hangt af van de veranderlijke grootheden r en $\Theta$, dus van de plaats van het punt dat men beschouwt.

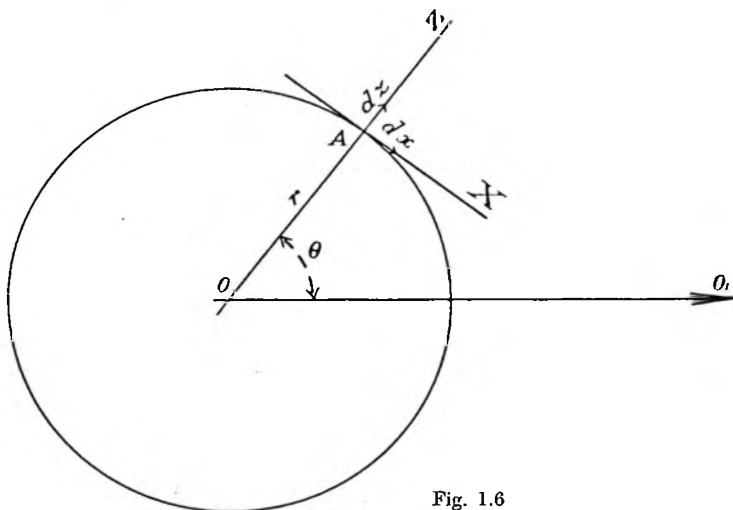



Fig. 1.6

Denkt men zich (fig. 1.6) in A een assenstelsel, waarvan de X as valt langs de lijn loodrecht op OA door het middelpunt van de aarde en liggend in het vlak door OA en $OO_1$, de Z as langs OA, de Y as loodrecht op AX en OZ, dan is bij een kleine verplaatsing dx langs AX dx = — rd $\Theta$ (x neemt toe als $\Theta$ afneemt) en bij een kleine verplaatsing langs AZ dz = dr.

Nu is $d\Phi = \frac{\partial\Phi}{\partial x}dx + \frac{\partial\Phi}{\partial y}dy + \frac{\partial\Phi}{\partial z}dz.$

Daar $\Phi$ niet verandert bij een kleine verplaatsing loodrecht op AX en AZ, waarbij r en $\Theta$ niet veranderen, is $\frac{\partial\Phi}{\partial y} = 0.$

Men heeft dus $\frac{\partial \Phi}{\partial x} = -\frac{1}{r}\frac{\partial \Phi}{\partial \Theta}$ en $\frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{\partial \Phi}{\partial r}$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \Theta} = -\frac{3fMr^2}{d^3}\sin\Theta\cos\Theta = -\frac{3\,fMr^2}{2d^3}\sin 2\Theta.$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial r} = \frac{3fMr}{d^3}\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right) - \frac{fA}{r^2}.$$

Met $g = \frac{fA}{r^2}$ is dan $-\frac{1}{r}\frac{\partial \Phi}{\partial \Theta} = H$, $\frac{\partial \Phi}{\partial r} = V - g$.

$d\Phi = Hdx + (V - g)\,dz$ is dus de arbeid verricht door getijkracht en zwaartekracht bij een kleine verplaatsing bepaald door dx, dy en dz.

Deze arbeid is nul als de verplaatsing zo geschiedt dat zij loodrecht is op de resultante van getijkracht en zwaartekracht. $d\Phi = 0$ geeft aan dat $\Phi$ constant is.

Een oppervlak bepaald door $\frac{3fMr^2}{2d^3}\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right) + \frac{fA}{r} =$ constant, staat dus in elk punt loodrecht op de resultante van getijkracht en zwaartekracht.

Dit oppervlak heet een *niveauvlak* of *equipotentiaalvlak* (kortweg potentiaalvlak).

## 1.5 Evenwichtstheorie

De evenwichtstheorie van Newton neemt aan, dat het oppervlak van het water zich overal loodrecht stelt op de resultante van getijkracht en zwaartekracht.

Indien dus de aarde geheel bedekt is door water van voldoende diepte, zal het wateroppervlak een potentiaalvlak zijn.

Is z de hoogte van dit vlak in A (fig. 1.7) boven een vast niveau PP′ en is over een kleine afstand $\triangle x$ in de richting van de grootste helling de verandering in hoogte $\triangle z$, dan bepaalt $\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{\triangle z}{\triangle x}$ de helling van het oppervlak in A t.o.v. het vaste niveau.

Daar de resultante van H en $g - V$ loodrecht staat op dit vlak, is dan ook $\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{H}{g - V}$.

V is zeer klein t.o.v. g, dus kan de horizontale component van de getijkracht in A worden bepaald uit $\frac{H}{g} = \frac{\triangle z}{\triangle x}$, of als $\triangle z$ tot nul nadert, uit $H = g\frac{\partial z}{\partial x}$.

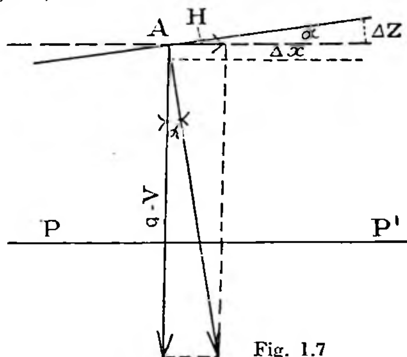


Fig. 1.7

In verband met $dx = -\,r d\Theta$ is dan $H = -\frac{g}{r}\frac{\partial z}{\partial \Theta}$.

Kent men dus de hoogte van het potentiaalvlak t.o.v. een vast niveau, dan bepaalt de verandering van de hoogte per eenheid van afstand de grootte van de horizontale getijkracht.

De stand van het wateroppervlak volgens de evenwichtstheorie geeft dus een beeld van het verloop der horizontale getijkrachten. Deze horizontale getijkrachten zijn de oorzaak van de bewegingen, die optreden.

De waterstandsveranderingen, die de evenwichtstheorie geeft, worden als uitgangspunt genomen om te komen tot een analyse van de getijkrachten.

De getijkrachten blijken ontleed te kunnen worden in harmonisch verlopende partiële krachten. De perioden van deze krachten komen ook voor in de werkelijke getijbewegingen.

Hoewel dus de evenwichtstheorie niet de getijbeweging geeft, die werkelijk optreedt, geeft zij de perioden van de werkelijke beweging en de verhouding van de amplituden der partiële getijkrachten.

Voor het evenwichtsoppervlak van het maansgetij geldt

$$\frac{3\,fMr^2}{2d^3}\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right) + \frac{fA}{r} = \text{constant.}$$

Stelt men deze constante waarde $= \frac{fA}{a}$, waarin a een vaste waarde heeft, dan zal r in het algemeen gelijk zijn aan $a + z$, waarin z de hoogte van het evenwichtsoppervlak boven een bolvlak met straal a.

Men heeft dan

$$\frac{3M}{2Ad^3}\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right) + \frac{1}{r^3} = \frac{1}{ar^2}$$

of

$$\frac{3M}{2Ad^3}\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right) = \frac{1}{ar^2} - \frac{1}{r^3} = \frac{r-a}{ar^3} = \frac{z}{a\,(a+z)^3}$$

Daar z klein is t.o.v. a, kan men dus zetten

$$\frac{3M}{2Ad^3}\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right) = \frac{z}{a^4}\text{, waaruit}$$

$$z = \frac{3Ma^3}{2Ad^3}\,a\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right).$$

Voor de maan is $\frac{Ma^3}{Ad^3} = 0{,}5582 \times 10^{-7}$, terwijl de overeenkomstige waarde voor de zon $\frac{Sa^3}{AD^3} = 0{,}2569 \times 10^{-7}$.

Met $a = 6367$ km wordt dan z:

| | $\Theta = 0°$ | $\Theta = 90°$ |
|---|---|---|
| Voor de maan . . . . . . . . . | 36 cm | — 18 cm |
| Voor de zon . . . . . . . . . . | 16 cm | — 8 cm |

De evenwichtstheorie geeft dus als grootste verschil in waterstand

voor de maan 54 cm,
voor de zon 24 cm.

### 1.6 Verdere ontleding van de getijhoogte volgens de evenwichtstheorie

De getijhoogte van het maansgetij volgens de evenwichtstheorie is bepaald door $z = \frac{3}{2}\,Ua\left(\cos^2\Theta - \frac{1}{3}\right)$, waarin $U = \frac{Ma^3}{Ad^3}$.

De getijhoogte hangt af van de topsafstand $\Theta$ van de maan en verandert dus in de loop van het etmaal.

De topsafstand geeft echter geen gemakkelijk overzicht van het verloop van de getijhoogte.

Men drukt daarom de topsafstand uit in de breedte $\varphi$ van de plaats, de declinatie d van de maan en de uurhoek P door middel van de betrekking

$$\cos\Theta = \sin\varphi\,\sin d + \cos\varphi\,\cos d\,\cos P.$$

Deze betrekking geldt algemeen als men $\varphi$ en d positief neemt als zij Noord, negatief als zij Zuid zijn en men P doortelt van 0° tot 360° ($0^u$ tot $24^u$).

Men heeft dan

$$\cos^2\Theta - \frac{1}{3} = \sin^2\varphi\,\sin^2 d + 2\sin\varphi\,\cos\varphi\,\sin d\,\cos d\,\cos P + \cos^2\varphi\,\cos^2 d\,\cos^2 P - \frac{1}{3}.$$

Met $\cos^2 P = \frac{1 + \cos 2P}{2}$ kan men dit herleiden tot

$$\frac{3}{2}\left(\frac{1}{3} - \sin^2\varphi\right)\left(\frac{1}{3} - \sin^2 d\right) + \sin 2\varphi\,\sin d\,\cos d\,\cos P + \frac{1}{2}\cos^2\varphi\,\cos^2 d\,\cos 2P. \quad \text{(1.6a)}$$

De getijhoogte blijkt af te hangen van drie termen met verschillend karakter:

1°. $\frac{3}{2}\left(\frac{1}{3} - \sin^2\varphi\right)\left(\frac{1}{3} - \sin^2 d\right)$

Voor een bepaalde plaats verandert deze waarde met $\sin^2 d$. Zij vertoont periodieke veranderingen met een periode, die gelijk is aan die, waarin d van 0° tot een maximum en weer tot 0° verandert, dus een halve siderische omloopstijd. Daar $\sin^2 d < \frac{1}{3}$ blijft, zal deze term steeds hetzelfde teken behouden.

De veranderingen in deze term geven aanleiding tot langzame schommelingen in de getijhoogte, dus een getij met lange periode.

2°. $\sin 2\varphi\,\sin d\,\cos d\,\cos P$

Deze term hangt in de eerste plaats af van cos P.

In het tijdsverloop tussen twee bovendoorgangen van de maan doorloopt cos P alle waarden van + 1 tot — 1 en terug. Noemt men het tijdsverloop een dag (voor de maan gemiddeld $24^u\,50^m$, een maansdag), dan is de periode van deze beweging een dag.

In de getijhoogte volgens de evenwichtstheorie komt dus een beweging voor met een periode van een dag, die men *enkeldaagse getijbeweging* noemt (diurnal motion).

De getijbeweging bevat een *enkeldaags getij*.

De grafiek van een beweging bepaald door $y = A \cos P$ geeft een sinusoïde met amplitude A.

Bij de enkeldaagse beweging hangt de amplitude af van $\sin d \cos d = \frac{1}{2} \sin 2d$. De absolute waarde van de amplitude schommelt dus tussen twee waarden, waarin d alle waarden doorloopt tussen 0° en een maximum waarde. In de amplitude komt een schommeling voor met een periode van een halve siderische omloopstijd.

3°. $\frac{1}{2} \cos^2 \varphi \cos^2 d \cos 2P$.

Deze term hangt in de eerste plaats af van cos 2P. In een halve dag doorloopt 2P alle waarden tussen + 1 en — 1 en van — 1 tot + 1. De term heeft dus een periode van een halve dag.

In de hoogte volgens de evenwichtstheorie komt dus een beweging voor met een periode van een halve dag, een *dubbeldaagse beweging* (semi-diurnal motion) of *dubbeldaags getij*.

De amplitude varieert met $\cos^2 d$. Zij schommelt tussen twee uitersten, waarin d alle waarden doorloopt tussen 0° en een maximum waarde. Na een halve siderische omloopstijd komen dezelfde amplituden weder in dezelfde volgorde voor, waaruit een periode van een halve siderische omloopstijd volgt.

4°. De factor $U = \frac{Ma^3}{Ad^3}$ hangt af van de afstand d van het hemellicht, die omgekeerd evenredig is met de parallax, die een periode heeft van een anomalistische omloopstijd.

De term $\frac{1}{2} \cos^2 \varphi \cos^2 d \cos 2P$ geeft een beweging, waarvoor de grootste positieve uitslag, dus de stand waarbij het water zijn hoogste peil bereikt, valt als $P = 0^u$ en als $P = 12^u$. Het dubbeldaagse getij geeft hoogwater als het hemellicht in de bovendoorgang en ook als het in de benedendoorgang staat.

Het maansgetij geeft dus hoogwater bij maansmeridiaansdoorgang, het zonsgetij bij zonsmeridiaansdoorgang.

Bij volle en bij nieuwe maan vallen deze hoogwaters samen en zal de uitslag uit gemiddeld peil gelijk zijn aan de som van de uitslagen van beide getijden.

Bij de kwartierstanden van de maan verschillen de doorgangstijden van zon en maan $6^u$. Geeft dus het maansgetij hoogwater, dan geeft het zonsgetij laagwater. De amplitude van het getij zal dan gelijk zijn aan het verschil der amplituden van beide getijden.

De evenwichtstheorie wijst zo op de verschijnselen in de getijbeweging, die men in de Noordzee en in de Atlantische Oceaan aantreft: grote verschillen tussen hoog- en laagwater omstreeks volle en nieuwe maan, zwakkere verschillen omstreeks de kwartierstanden.

De term $\sin 2\varphi \sin d \cos d \cos P$ geeft een beweging aan, waarvoor als breedte en declinatie gelijknamig zijn ($\varphi$ en d gelijke tekens), de grootste positieve uitslag (hoogwater) valt als $P = 0^u$, terwijl de grootste negatieve uitslag (laagwater) valt als $P = 12^u$. Zijn breedte en declinatie ongelijknamig, dan valt hoogwater bij $P = 12^u$ en laagwater als $P = 0^u$.

Is de declinatie 0°, dan verdwijnt dit enkeldaagse getij.

De evenwichtstheorie geeft aan, dat het hoogwater zal zijn als $P = 0^u$, dus als de maan zich in de meridiaan van een plaats bevindt. Het hoogwater zal zich dan over de aarde verplaatsen in de richting Oost—West.

Bij de getijbeweging, zoals die op aarde wordt waargenomen, blijkt dit in het algemeen niet het geval te zijn.

De helling van het wateroppervlak volgens de evenwichtstheorie geeft aan hoe de horizontale getijkrachten verlopen.

Daar deze helling periodieke veranderingen vertoont, zullen de getijkrachten dezelfde periodieke veranderingen hebben.

De grondstelling van Laplace, die reeds op blz. 1 werd genoemd, zegt, dat, als krachten voorkomen met een zekere periode, een waterbeweging zal ontstaan met dezelfde periode.

Hoe dus ook de werkelijke beweging zal zijn, wanneer de getijkrachten blijven werken ontstaat een beweging, die dezelfde perioden heeft als de beweging volgens de evenwichtstheorie.

De tijden van hoogwater van een werkelijk getij zullen dus een vast tijdsverloop verschillen met de tijdstippen van hoogwater volgens de evenwichtstheorie. Dit tijdsverloop zal niet voor alle plaatsen hetzelfde zijn.

In het voorgaande zijn nu perioden gevonden van ½ maansdag, een maansdag en van een halve maand, terwijl bovendien de amplituden van de verschillende voorkomende bewegingen periodieke schommelingen vertonen.

Zuiver harmonische bewegingen zijn de gevonden bewegingen niet.

Is de periode van een zuiver harmonische beweging = T uren en is $nT = 360°$, dan is een zuiver harmonische beweging bepaald door $y = R \cos (nt - \alpha)$, waarin de amplitude R constant is, t het aantal uren sedert het beginpunt van de tijdtelling en $- \alpha$ de phase op het moment waarvoor $t = 0$.

De phase $nt - \alpha$ verandert eenparig.

In de gevonden bewegingen is de amplitude niet constant en verandert P niet eenparig. P doorloopt 360° in een maansdag, waarvan de duur schommelt tussen $24^u\ 40^m$ en $25^u\ 04^m$.

Bij de waterbeweging onder de invloed van periodieke krachten blijkt de beweging af te hangen van de verhouding van de periode der krachten tot de z.g. eigen periode van de watermassa. Onder deze eigen periode wordt het volgende verstaan:

Wanneer in een bepaald watergebied door een of andere oorzaak een evenwichtstoring is ontstaan, zal na het ophouden van die oorzaak het water in schommeling geraakt zijn en een golfbeweging met een bepaalde periode het gevolg zijn. De periode blijkt af te hangen van vorm en diepteverloop van het beschouwde gebied. Deze periode heet de eigen periode.

Zijn dus de perioden der krachten niet constant, dan blijft de verhouding tussen de perioden der krachten en de eigen periode niet dezelfde en zullen dus de reacties van het gebied op de getijkrachten veranderen.

Daarom is het nodig de krachten verder te ontleden om te komen tot partiële krachten, die zuiver harmonisch verlopen.

### 1.7 De componenten van de getijkracht langs meridiaan en parallel

Hoewel de perioden, die in de getijkrachten voorkomen, volgen uit de getijhoogte volgens de evenwichtstheorie, is het voor sommige onderzoekingen nodig te beschikken over directe formules voor de krachten. De horizontale getijkracht is op blz. 8 gevonden als $\frac{3}{2}$ Ug sin 2 $\Theta$. Deze kracht verandert op een bepaalde plaats echter niet alleen in grootte, doch ook in richting.

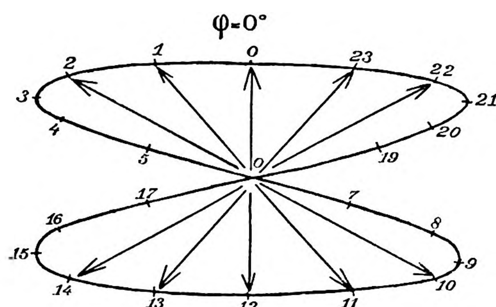


Fig. 1.10

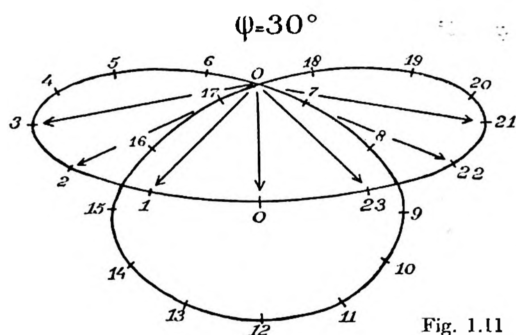


Fig. 1.11

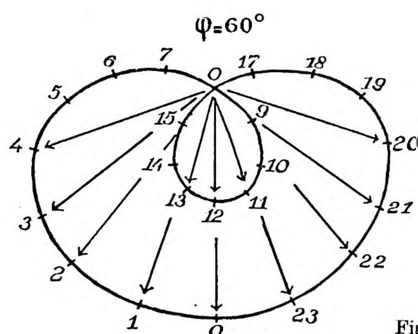


Fig. 1.12

De componenten van de getijkracht langs meridiaan en parallel vertonen dezelfde perioden als de getijhoogte volgens de evenwichtstheorie, n.l.:

1°. een lang periodieke verandering in N in verband met de term $\frac{1}{3} - \sin^2 d$.

2°. termen met een periode van een dag, in N door de term

$$2 \cos 2\varphi \sin d \cos d \cos P,$$

in W door de term $2 \sin \varphi \sin d \cos d \sin P$.

3°. termen met een periode van een halve dag, in N door

$$-\sin \varphi \cos \varphi \cos^2 d \cos 2P,$$

in W door $\cos \varphi \cos^2 d \sin 2P$.

De figuren 1.8 en 1.9 geven voor $d = 15°$ het verloop van de enkeldaagse en dat van de dubbeldaagse getijkracht in een dag voor de breedten 0°, 15°, 30°, 45° en 60° N. De getallen bij de uiteinden der vectoren geven de waarden van P in uren.

Voor de dubbeldaagse getijkrachten blijkt de krachtvector op NB steeds rechtsom, op ZB steeds linksom te draaien. Voor de enkeldaagse getijkrachten is de draaiing tussen 0° en 45° breedte tegengesteld aan die voor breedten boven 45°. Op 45° breedte heeft de enkeldaagse getijkracht geen component langs de meridiaan.

De figuren 1.10, 1.11 en 1.12 geven voor $d = 15°$ en de breedten 0°, 30°, 60° N het verloop van de totale getijkracht. De krachtvector voor b.v. $P = a^u$, is de lijn die O verbindt met het punt op de omtrek voor dit aantal uren.

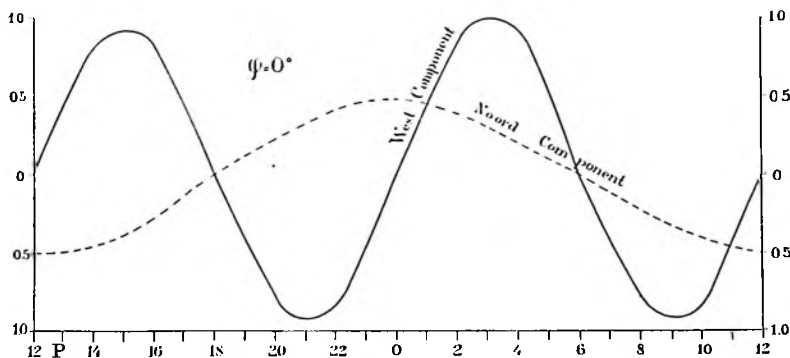



Fig. 1.13

Een eenvoudiger overzicht geven de grafieken van de figuren 1.13, 1.14 en 1.15, waar de waarden van N en W als ordinaten zijn afgezet en als eenheid is genomen de waarde $\frac{3}{2}$ Ug.

Ter vergelijking geeft fig. 1.16 het verloop van de getijhoogte volgens de evenwichtstheorie met $\frac{3}{2}$ Ua als eenheid.

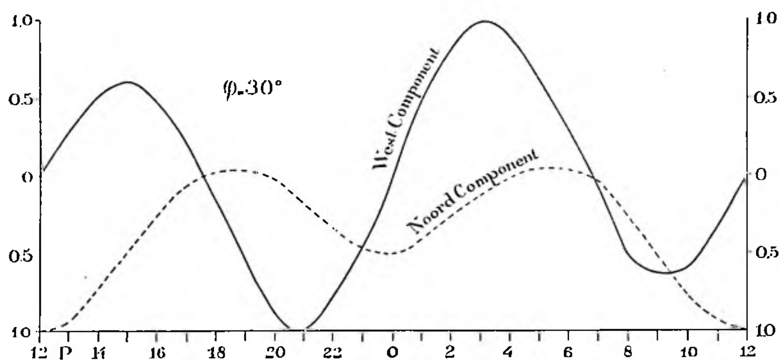


Fig. 1.14

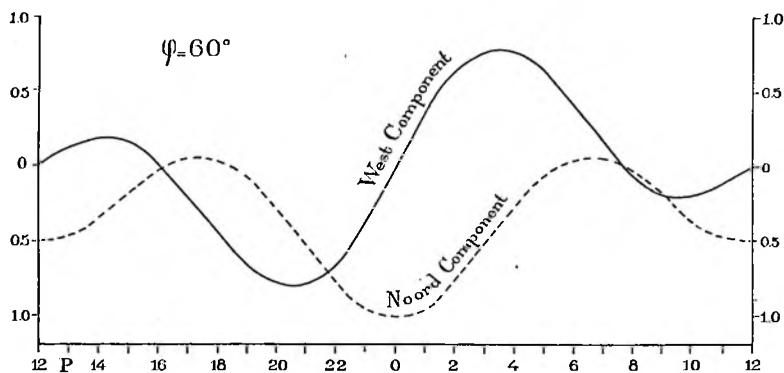


Fig. 1.15

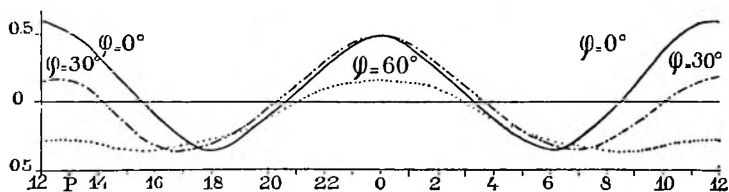


Fig. 1.16

## 1.8 Verdere ontleding van de getijhoogte der evenwichtstheorie

In de formule voor de hoogte van het getij der evenwichtstheorie en in die voor de componenten van de getijkrachten langs meridiaan en parallel blijken volgens het voorgaande termen voor te komen, die bepaalde perioden vertonen. Zuiver harmonische functies zijn deze termen niet.

De termen, waaruit de gevonden formules bestaan, bevatten de maansdeclinatie d en de uurhoek P, die geen van beide eenparig veranderen. Men tracht nu deze termen uit te drukken in grootheden, die wel eenparig veranderen.

Men kan hiervoor als volgt te werk gaan.

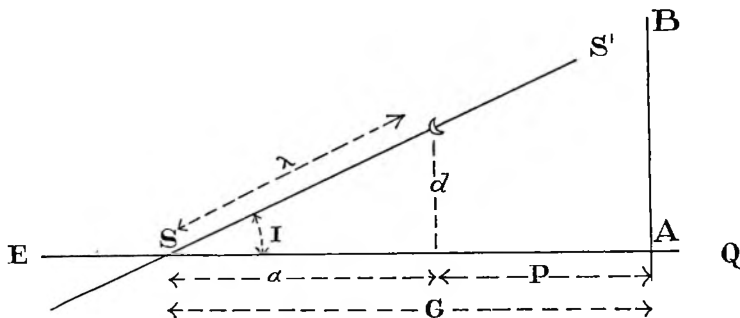



Fig. 1.17

In fig. 1.17 is EQ de hemelequator, SS' de maansbaan, die de equator snijdt onder een hoek I. De boog van de maansbaan vanaf het snijpunt S van de maansbaan en de equator tot aan de maan = $\lambda$, de boog van de equator vanaf S tot de declinatiecirkel van de maan = $\alpha$. Verder is AB de meridiaan van de plaats waarvoor P de uurhoek van de maan, G de uurhoek van S is.

Men heeft dus $P = G - \alpha$.

Uit de figuur volgt $\cos \lambda = \cos d \cos \alpha$, $\sin d = \sin \lambda \sin I$,

$$\cos I = \operatorname{tg} \alpha \operatorname{cotg} \lambda = \frac{\sin \alpha \cos \lambda}{\cos \alpha \sin \lambda} = \frac{\sin \alpha \cos d}{\sin \lambda}.$$

Hieruit $\sin \alpha \cos d = \cos I \sin \lambda$

De factor $\cos^2 d \cos 2P$ kan men nu herleiden:

$$\begin{aligned} \cos^2 d \cos 2P &= \cos^2 d \cos (2G - 2\alpha) \\ &= \cos 2G \cos^2 d \cos 2\alpha + \sin 2G \cos^2 d \sin 2\alpha \\ &= \cos 2G \cos^2 d (\cos^2\alpha - \sin^2\alpha) + 2 \sin 2G \cos^2 d \sin \alpha \cos \alpha \\ &= \cos 2G \cos^2\lambda - \cos 2G \cos^2 I \sin^2\lambda + 2 \sin 2G \cos I \sin \lambda \cos \lambda \\ &= \tfrac{1}{2} \cos 2G (1 + \cos 2\lambda) - \tfrac{1}{2} \cos 2G \cos^2 I (1 - \cos 2\lambda) + \sin 2G \sin 2\lambda \cos I \end{aligned}$$

Nu is $\cos 2G \cos 2\lambda = \frac{1}{2}[\cos(2G - 2\lambda) + \cos(2G + 2\lambda)]$
$\sin 2G \sin 2\lambda = \frac{1}{2}[\cos(2G - 2\lambda) - \cos(2G + 2\lambda)]$

Hiermede

$$\cos^2 d \cos 2P = \tfrac{1}{2}\sin^2 I \cos 2G + \tfrac{1}{4}(1 + 2\cos I + \cos^2 I)\cos(2G - 2\lambda) + \tfrac{1}{4}(1 - 2\cos I + \cos^2 I)\cos(2G + 2\lambda)$$

$$1 + 2\cos I + \cos^2 I = (1 + \cos I)^2 = 4\cos^4 \tfrac{1}{2} I$$
$$1 - 2\cos I + \cos^2 I = (1 - \cos I)^2 = 4\sin^4 \tfrac{1}{2} I$$

Men heeft dus

$$\cos^2 d \cos 2P = \tfrac{1}{2}\sin^2 I \cos 2G + \cos^4 \tfrac{1}{2} I \cos(2G - 2\lambda) + \sin^4 \tfrac{1}{2} I \cos(2G + 2\lambda) \quad (1.8a)$$

De factor $\sin d \cos d \cos P$ wordt $\sin d \cos d \cos(G - \alpha) =$

$$= \cos G \sin d \cos d \cos \alpha + \sin G \sin d \cos d \sin \alpha$$
$$= \cos G \sin I \sin \lambda \cos \lambda + \sin G \sin I \cos I \sin^2 \lambda$$
$$= \tfrac{1}{2}\cos G \sin I \sin 2\lambda + \tfrac{1}{2}\sin G \sin I \cos I (1 - \cos 2\lambda)$$

Met $\cos G \sin 2\lambda = \frac{1}{2}[\sin(G + 2\lambda) - \sin(G - 2\lambda)]$
$\sin G \cos 2\lambda = \frac{1}{2}[\sin(G + 2\lambda) + \sin(G - 2\lambda)]$

wordt

$$\sin d \cos d \cos P = \tfrac{1}{2}\sin I \cos I \sin G - \tfrac{1}{4}\sin I (1 + \cos I)\sin(G - 2\lambda) + \tfrac{1}{4}\sin I(1 - \cos I)\sin(G + 2\lambda)$$

of

$$\sin d \cos d \cos P = \tfrac{1}{2}\sin I \cos I \cos(G - 90°) + \tfrac{1}{2}\sin I \cos^2 \tfrac{1}{2} I \cos(G - 2\lambda + 90°) + \tfrac{1}{2}\sin I \sin^2 \tfrac{1}{2} I \cos(G + 2\lambda - 90°) \quad (1.8b)$$

Verder is $\sin^2 d = \sin^2 \lambda \sin^2 I = \sin^2 I \times \dfrac{1 - \cos 2\lambda}{2}$

$$\tfrac{1}{3} - \sin^2 d = (\tfrac{1}{3} - \tfrac{1}{2}\sin^2 I) + \tfrac{1}{2}\sin^2 I \cos 2\lambda \quad (1.8c)$$

Voor de hoogte van het oppervlak volgens de evenwichtstheorie heeft men dus

$z = \dfrac{3}{2}\, Ua \times [A + B + C]$, waarin

$$A = \left(\frac{1}{2} - \frac{3}{2}\sin^2 \varphi\right)\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2}\sin^2 I\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2} - \frac{3}{2}\sin^2 \varphi\right)\sin^2 I \cos 2\lambda$$

$$B = \tfrac{1}{2}\sin 2\varphi\,[\sin I \cos I \cos(G - 90°) + \sin I \cos^2 \tfrac{1}{2} I \cos(G - 2\lambda + 90°) + \sin I \sin^2 \tfrac{1}{2} I \cos(G + 2\lambda - 90°)]$$

$$C = \tfrac{1}{2}\cos^2 \varphi\,[\tfrac{1}{2}\sin^2 I \cos 2G + \cos^4 \tfrac{1}{2} I \cos(2G - 2\lambda) + \sin^4 \tfrac{1}{2} I \cos(2G + 2\lambda)]$$

Indien dus het snijpunt van de maansbaan met de equator een vast punt was, I niet veranderde en tevens de verplaatsing van de maan eenparig was, zou dus z hiermede ontleed zijn in termen van de vorm R cos x, waarin R constant is en x eenparig verandert.

De onderlinge verhouding van de termen volgt uit de onderstaande tabel, waarin de waarden van de in de formules voorkomende functies van I voor I = 18°,5, 23°,5 en 28°,5 zijn gegeven.

| | I = 18°,5 | 23°,5 | 28°,5 |
|---|---|---|---|
| $\frac{1}{2}\sin^2 I$ | 0,050 | 0,080 | 0,114 |
| $\sin I \cos I$ | 0,301 | 0,366 | 0,419 |
| $\sin I \cos^2 \frac{1}{2} I$ | 0,309 | 0,382 | 0,448 |
| $\sin I \sin^2 \frac{1}{2} I$ | 0,008 | 0,017 | 0,029 |
| $\cos^4 \frac{1}{2} I$ | 0,949 | 0,919 | 0,883 |
| $\sin^4 \frac{1}{2} I$ | 0,001 | 0,002 | 0,004 |

De term $\sin^4 \frac{1}{2} I \cos (2G + 2\lambda)$ is t.o.v. de andere van weinig belang en wordt verwaarloosd bij de verdere beschouwingen.

G is de uurhoek van het snijpunt van de maansbaan en de equator. Is (zie fig. 1.18) de rechte klimming van dit snijpunt = $\nu$, dan is $G + \nu$ de sterretijd voor het beschouwde tijdstip.

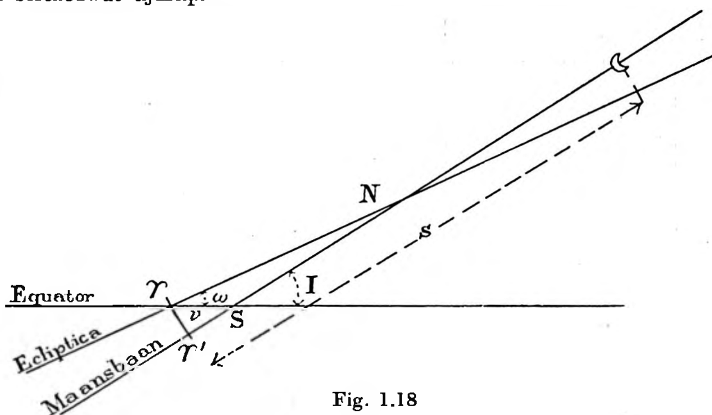



Fig. 1.18

Is T de westelijke uurhoek, h de rechte klimming van de middelbare zon, dan is

$$G + \nu = T + h \text{ of } G = T + h - \nu$$

Als nulpunt van telling voor het bepalen van de stand van de maan in haar baan neemt men in sterrekundige opgaven het punt ♈′, dat in de maansbaan evenver van de knoop N ligt als het punt ♈ (het snijpunt van equator en ecliptica).

Is s de lengte van de maan in haar baan, dan verschilt s met de boven gebruikte waarde $\lambda$ een bedrag $\xi$ dat gelijk is aan ♈N — SN. Hierdoor is $\lambda = s - \xi$.

Men heeft dan $2\lambda = 2(s - \xi)$

$$G - 90^\circ = T + h - \nu - 90^\circ$$
$$G - 2\lambda + 90^\circ = T + (h - 2s) + (2\xi - \nu) + 90^\circ$$
$$G + 2\lambda - 90^\circ = T + (h + 2s) - (2\xi + \nu) - 90^\circ$$
$$2G = 2\,(T + h - \nu)$$
$$2G - 2\lambda = 2T + 2(h - s) + 2(\xi - \nu).$$

In de onderstelling dat s eenparig verandert (middelbare maansbeweging) en I, $\xi$ en $\nu$ constant zijn, is z gesplitst in harmonische functies A cos (V + u), waarin A constant, V een hoekwaarde, die afhangt van de eenparig veranderende grootheden T, h en s, en u afhangt van $\xi$ en $\nu$.

Per middelbaar uur verandert T met 15°, h met 0°,04107 en s met 0°,54902.

De evenwichtstheorie geeft zo aanleiding tot een serie periodieke bewegingen, die men aangeeft als *partiële getijden* en waarvan elk wordt aangeduid door een kenletter.

Afgezien van de gemeenschappelijke factor $\frac{3}{2}$ Ua heeft men dan

| Kenletters | Amplitude | V | u | △ V p/u | Periode |
|---|---|---|---|---|---|
| Mf | $(\frac{1}{2} - \frac{3}{2}\sin^2\varphi) \times \frac{\sin^2 I}{2}$ | 2s | $-2\xi$ | 1°,0980 | 13⅔ dag (1.8d) |
| $M_2$ | $\frac{1}{2}\cos^2\varphi \times \cos^4 \frac{1}{2} I$ | 2T + 2h — 2s | $2(\xi - \nu)$ | 28°,9841 | $12^u25^m$ (1.8 e) |
| $K_2$ | $\frac{1}{2}\cos^2\varphi \times \frac{\sin^2 I}{2}$ | 2T + 2h | $-2\nu$ | 30°,0821 | $11^u58^m$ (1.8 f) |
| $K_1$ | $\frac{1}{2}\sin 2\varphi \times \sin I \cos I$ | T + h — 90° | $-\nu$ | 15°,0411 | $23^u56^m$ (1.8 g) |
| $O_1$ | $\frac{1}{2}\sin 2\varphi \times \sin I \cos^2 \frac{1}{2} I$ | T + h — 2s + 90° | $2\xi - \nu$ | 13°,9430 | $25^u49^m$ (1.8h) |
| $OO_1$ | $\frac{1}{2}\sin 2\varphi \times \sin I \sin^2 \frac{1}{2} I$ | T + h + 2s — 90° | $-2\xi - \nu$ | 16°,1391 | $22^u21^m$ (1.8 i) |

De totale beweging van het maansgetij is dus ontleed in partiële getijden:

getij met lange periode Mf (moon-fortnightly)
enkeldaagse getijden $K_1$ (enkeldaags declinatie getij)
$O_1$ ( „ „ „ )
$OO_1$ ( „ „ „ )
dubbeldaagse getijden $K_2$ (dubbeldaags „ „ )
$M_2$ ( „ maans „ )

De getijden Mf, $K_1$, $O_1$, $OO_1$ en $K_2$ zouden niet voorkomen als I = 0, dus de declinatie van de maan steeds nul was. Vandaar dat men deze getijden als declinatie-getijden aangeeft.

V + u noemt men het argument of de phase van het getij; de verandering van de phase per uur heet de *hoeksnelheid*.

Op de gevonden resultaten moeten correcties worden toegepast in verband met de veranderlijke afstand aarde—maan en de niet eenparige beweging van de maan in haar baan.

De factor $\frac{3}{2}$ Ua $= \frac{3}{2}\frac{Ma^3}{Ad^3} \times$ a hangt af van $\frac{1}{d^3}$.

De afstand d is veranderlijk. Neemt men in de factor voor d een gemiddelde waarde $d_0$, dan moet voor een gegeven tijdstip de waarde gecorrigeerd worden met een factor $\left(\frac{d_0}{d}\right)^3$.

Uit astronomische beschouwingen betreffende de maansbeweging, die hier niet zullen worden gegeven, volgt:

$$\frac{d_0}{d} = 1 + \varepsilon \cos (s - p) + \varepsilon^2 \cos 2(s - p)$$

$$+ \frac{15}{8} m\varepsilon \cos (s - 2h + p) + m^2 \cos 2 (s - h) \ldots\ldots \qquad (1.8j)$$

waarin s middelbare lengte van de maan,
h rechte klimming van de middelbare zon,
p lengte van het perigeum van de maansbaan,
$\varepsilon$ excentriciteit van de maansbaan (0,0549)
m verhouding van de gemiddelde snelheid van zon en maan bij de beweging langs de sfeer (0,0748).

Verder is (in radialen) de ware lengte van de maan =

$$s + 2\varepsilon \sin (s - p) + \frac{5}{4} \varepsilon^2 \sin 2 (s - p) +$$

$$+ \frac{15}{4} m\varepsilon \sin (s - 2h + p) + \frac{11}{8} m^2 \sin 2 (s - h) = s + k \qquad (1.8k)$$

De amplituden van de gevonden getijden moeten dus vermenigvuldigd worden met $\{1 + \varepsilon \cos (s - p) \ldots\}^3$, terwijl in het argument voor s moet genomen worden $s + k$.

Voor $OO_1$ en Mf, waarvan de amplituden klein zijn t.o.v. die der andere getijden, kan men dit verwaarlozen.

Verwaarloost men termen van de orde $\varepsilon^2$, dan is $\left(\frac{d_0}{d}\right)^3 = 1 + 3\varepsilon \cos (s - p)$, $k = 2\varepsilon \sin (s - p)$ en wordt A cos (V + u):

$A \{1 + 3\varepsilon \cos (s - p)\} \cos (V + u - yk)$, waarin voor $M_2$ en $O_1$ $y = 2$, voor $K_2$ en $K_1$ $y = 0$.

$\cos (V + u - yk)$ kan men bij de kleine waarde van k vervangen door $\cos (V + u) + yk \sin (V + u) = \cos (V + u) + 2y\varepsilon \sin (s - p) \sin (V + u)$.

Vermenigvuldiging met $1 + 3\varepsilon \cos (s - p)$ geeft bij verwaarlozing van termen met $\varepsilon^2$:

$\cos (V + u) + 3 \varepsilon \cos (s - p) \cos (V + u) + 2y\varepsilon \sin (s - p) \sin (V + u)$,

wat herleid kan worden tot

$$\cos (V + u) + \frac{3}{2} \varepsilon \cos (V + u + s - p) + \frac{3}{2} \varepsilon \cos (V + u - s + p)$$

$$- y\varepsilon \cos (V + u + s - p) + y\varepsilon \cos (V + u - s + p) =$$

$$\cos (V + u) + \left(\frac{3}{2} - y\right) \varepsilon \cos (V + u + s - p) + \left(\frac{3}{2} + y\right) \varepsilon \cos (V + u - s + p).$$

Naast het gevonden partiële getij $A \cos (V + u)$ komen dan als correctiegetijden voor de verandering in afstand van de maan

$$\left(\frac{3}{2} + y\right) \varepsilon A \cos (V + u - s + p),$$

$$\left(\frac{3}{2} - y\right) \varepsilon A \cos (V + u + s - p).$$

Naast $M_2$, waarvoor, afgezien van de voor alle getijden gemeenschappelijke factor $\frac{3}{2} \frac{M}{A} \left(\frac{a}{d}\right)^3$ en de geografische factor $\frac{1}{2} \cos^2 \varphi$, gevonden is

$\cos^4 \frac{1}{2} I \cos (2T + 2h - 2s + 2\xi - 2\nu)$ komt, met $y = 2$

$$N_2 = \frac{7}{2} \varepsilon \cos^4 \tfrac{1}{2} I \cos (2T + 2h - 3s + p + 2\xi - 2\nu) \qquad (1.8l)$$

$$L_2 = - \tfrac{1}{2} \varepsilon \cos^4 \tfrac{1}{2} I \cos (2T + 2h - s - p + 2\xi - 2\nu)$$
$$= \tfrac{1}{2} \varepsilon \cos^4 \tfrac{1}{2} I \cos (2T + 2h - s - p + 2\xi - 2\nu + 180°) \qquad (1.8m)$$

Naast $K_2$ $\frac{1}{2} \sin^2 I \cos (2T + 2h - 2\nu)$ komt, met $y = 0$

$$L_2' = \tfrac{3}{4} \varepsilon \sin^2 I \cos (2T + 2h - s + p - 2\nu) \qquad (1.8n)$$

$$KJ_2 = \tfrac{3}{4} \varepsilon \sin^2 I \cos (2T + 2h + s - p - 2\nu) \qquad (1.8o)$$

Naast $O_1$ $\sin I \cos^2 \frac{1}{2} I \cos (T + h - 2s + 90° + 2\xi - \nu)$, met $y = 2$

$$Q_1 = \frac{7}{2} \varepsilon \sin I \cos^2 \tfrac{1}{2} I \cos (T + h - 3s + p + 90° + 2\xi - \nu) \qquad (1.8p)$$

$$M_1 = \tfrac{1}{2} \varepsilon \sin I \cos^2 \tfrac{1}{2} I \cos (T + h - s - p - 90° + 2\xi - \nu) \qquad (1.8q)$$

Naast $K_1$ $\sin I \cos I \cos (T + h - 90° - \nu)$, met $y = 0$

$$M_1' = \frac{3}{2} \varepsilon \sin I \cos I \cos (T + h - s + p - 90° - \nu) \qquad (1.8r)$$

$$J_1 = \frac{3}{2} \varepsilon \sin I \cos I \cos (T + h + s - p - 90° - \nu) \qquad (1.8s)$$

Voor de correcties van het $M_2$ getij brengt men ook termen met factoren van de orde $\varepsilon^2$ in rekening. De afleiding van deze correcties wordt hier niet gegeven, de werkwijze is analoog met die boven gegeven is.

De voornaamste van de daardoor ingevoerde termen zijn

$$2N_2 \quad \frac{17}{2}\varepsilon^2 \cos^4 \tfrac{1}{2} I \cos(2T - 4s + 2h + 2p + 2\xi - 2\nu) \tag{1.8t}$$

$$\nu_2 \quad \frac{105}{16} m\varepsilon \cos^4 \tfrac{1}{2} I \cos(2T - 3s + 4h - p + 2\xi - 2\nu) \tag{1.8u}$$

$$\lambda_2 \quad \frac{15}{16} m\varepsilon \cos^4 \tfrac{1}{2} I \cos(2T - s + p + 180° + 2\xi - 2\nu) \tag{1.8v}$$

$$\mu_2 \quad \frac{23}{8} m^2 \cos^4 \tfrac{1}{2} I \cos(2T - 4s + 4h + 2\xi - 2\nu) \tag{1.8w}$$

De termen $L_2$ en $L_2'$ vat men samen tot één. Het argument van $L_2'$ is n.l. = argument $L_2 + 2p - 2\xi - 180°$.

Zijn A en B de amplituden van resp. $L_2$ en $L_2'$, $\Theta$ het argument van $L_2$, dan geeft de sommering van beide termen

$$A \cos \Theta + B \cos(\Theta + 2(p - \xi) - 180°) =$$
$$[A - B \cos 2(p - \xi)] \cos \Theta + B \sin 2(p - \xi) \sin \Theta.$$

Met $A - B \cos 2(p - \xi) = R_a \cos R$,
$B \sin 2(p - \xi) = R_a \sin R$, wordt dan
$L = R_a \cos(\Theta - R)$.

Evenzo combineert men $M_1$ en $M_1'$ tot één $M_1$ getij.

In de formule voor de getijhoogte werd een term gevonden

$$\frac{3}{2} Ua \times \left(\frac{1}{2} - \frac{3}{2}\sin^2 \varphi\right)\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2}\sin^2 I\right).$$

$U = \frac{M}{A}\frac{a^3}{d^3} = \frac{M}{A}\frac{a^3}{d_0^3} \times \left(\frac{d_0}{d}\right)^3$, zodat de veranderlijkheid van de afstand aanleiding geeft tot een correctieterm, die verkregen wordt door deze term te vermenigvuldigen met $3\varepsilon \cos(s - p)$.

Dit geeft aanleiding tot een getij met periode van een maand (kenletter $M_m$, moon-monthly).

$$\frac{3}{2} Ua\left(\frac{1}{2} - \frac{3}{2}\sin^2 \varphi\right)\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2}\sin^2 I\right) \times 3\varepsilon \cos(s - p) \tag{1.8x}$$

De knopenlijn van de maansbaan heeft geen vaste stand. Hierdoor veranderen I, $\xi$ en $\nu$.

In fig. 1.18 is I het supplement van hoek ♈SN van de boldriehoek ♈SN, $\xi$ het verschil der zijden ♈N en SN, $\nu$ = ♈S.

In boldriehoek ♈SN zijn de hoeken N♈S en ♈NS resp. 23°27′ en 5°09′, terwijl de zijde ♈N de lengte van de knoop van de maansbaan is.

I, $\xi$ en $\nu$ hangen dus af van de lengte van de klimmende knoop van de maansbaan, die gewoonlijk door N wordt aangegeven.

I, $\xi$ en $\nu$ doorlopen dus periodieke veranderingen met een periode van $18\frac{2}{3}$ jaar, de tijd waarin de knopenlijn van de maansbaan één omwenteling maakt.

Ieder der gevonden getijden zal dus van jaar tot jaar een andere amplitude en een andere waarde van u in V + u hebben.

Bij de analyse van getijbewegingen herleidt men de amplituden tot een gemiddelde van de waarden, die in een tijdsverloop van $18\frac{2}{3}$ jaar voorkomen. De amplitude voor een bepaald tijdstip wordt dan verkregen door de gemiddelde amplitude te vermenigvuldigen met een factor f. Voor het $M_2$ getij b.v. is deze factor $f = \dfrac{\cos^4 \frac{1}{2} I}{\text{gem. ampl.}}$

Deze factoren f veranderen, evenals I, $\xi$ en $\nu$, zeer langzaam met de tijd. Gewoonlijk worden f, $\xi$ en $\nu$ voor de loop van een jaar constant genomen.

Tafels voor het bepalen van N voor een bepaald tijdstip en voor het bepalen van f, $\xi$ en $\nu$ vindt men o.a. in Schüreman, Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides (Special Publication n°. 98 U.S. Coast and Geodetic Survey).

## 1.9 Zonsgetijden

De getijbeweging, die veroorzaakt wordt door de zon, kan op dezelfde wijze worden ontleed als voor de maan is gedaan.

De constante factor $U = \dfrac{Ma^3}{Ad^3}$ wordt nu $U_1 = \dfrac{Sa^3}{A{d_1}^3}$ (S massa zon, $d_1$ afstand zon—aarde).

De hellingshoek I van de maansbaan t.o.v. de equator wordt vervangen door de hoek tussen ecliptica en equator, $\omega = 23°27'$.

De middelbare maanslengte s wordt vervangen door de middelbare zonslengte, die aangegeven wordt door h, welke waarde bij definitie gelijk is aan de rechte klimming van de middelbare zon, die bij de ontwikkeling van de theorie der maansgetijden werd ingevoerd. De waarden $\xi$ en $\nu$ zijn voor de zonsbeweging overbodig. De lengte p van het perigeum van de maansbaan, wordt nu $p_1$ de lengte van het perigeum van de schijnbare baan van de zon t.o.v. de aarde.

De excentriciteit $\varepsilon_1$ van de zonsbaan is ongeveer $\frac{1}{3}$ van de excentriciteit $\varepsilon$ van de maansbaan, zodat de correctietermen voor de afstandsverandering zon—aarde van minder betekenis zijn dan bij de maansgetijden.

Met verwaarlozing van onbelangrijke termen geeft dan de analyse van het zonsgetij de volgende termen. (Zie tabel bovenaan blz. 29).

Zowel het zonsgetij als het maansgetij geven aanleiding tot een $K_1$ getij en een $K_2$ getij.

Afgezien van de geografische factoren met sin $\varphi$ en cos $\varphi$, die dezelfde zijn voor zonsgetij en maansgetij, is de amplitude van het maansgetij $K_1 = \frac{3}{4} U \sin I \cos I = A$, van het zonsgetij $K_1 = \frac{3}{4} \times 0{,}46\, U \sin \omega \cos \omega = B$.

Combinatie van beide getijden geeft

$$A \cos (T + h - \nu - 90°) + B \cos (T + h - 90°) =$$

$$A \cos (T + h - 90°) \cos \nu + A \sin (T + h - 90°) \sin \nu + B \cos (T + h - 90°).$$

Met $A \cos \nu + B = R \cos \nu'$ en

$A \sin \nu = R \sin \nu'$ wordt dan het zons—maansgetij $K_1$

$$R \cos (T + h - \nu' - 90°).$$

Gemeenschappelijke factor $\frac{3}{2}\frac{Sa^3}{Ad_1^3}a = \frac{3}{2} \times 0{,}46\, \frac{Ma^3}{Ad_0^3}a = \frac{3}{2} \times 0{,}46$ Ua.

| Ken-letter | Amplitude | V | $\Delta$ V p/u | Periode | |
|---|---|---|---|---|---|
| $S_a$ | $3\varepsilon_1\left(\frac{1}{2}-\frac{3}{2}\sin^2\varphi\right)\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{2}\sin^2\omega\right)$ | $h - p_1$ | 0°,0411 | een jaar | (1.9a) |
| $S_{sa}$ | $\left(\frac{1}{2}-\frac{3}{2}\sin^2\varphi\right)\frac{\sin^2\omega}{2}$ | 2h | 0°,0821 | half jaar | (1.9b) |
| $S_2$ | $\frac{1}{2}\cos^2\varphi\cos^4\frac{1}{2}\omega$ | 2T | 30° | $12^u$ | (1.9c) |
| $K_2$ | $\frac{1}{2}\cos^2\varphi\,\frac{\sin^2\omega}{2}$ | 2T + 2h | 30°,0821 | $11^u58^m$ | (1.9d) |
| $T_2$ | $\frac{1}{2}\cos^2\varphi \times \frac{7}{2}\varepsilon_1\cos^4\frac{1}{2}\omega$ | $2T - h + p_1$ | 29°,9589 | $12^u01^m$ | (1.9e) |
| $R_2$ | $\frac{1}{2}\cos^2\varphi \times \frac{1}{2}\varepsilon_1\cos^4\frac{1}{2}\omega$ | $2T + h - p_1 + 180°$ | 30°,0411 | $11^u59^m$ | (1.9f) |
| $K_1$ | $\frac{1}{2}\sin 2\varphi \times \sin\omega\cos\omega$ | T + h — 90° | 15°,0411 | $23^u56^m$ | (1.9g) |
| $P_1$ | $\frac{1}{2}\sin 2\varphi \times \sin\omega\cos^2\frac{1}{2}\omega$ | T — h + 90° | 14°,9589 | $24^u04^m$ | (1.9h) |

R en $\nu'$ hangen af van de stand van de knopenlijn van de maansbaan.

Gaat men weer uit van een gemiddelde waarde van R, dan is voor een bepaald tijdstip het $K_1$ getij bepaald door

$$fR\cos(T + h - \nu' - 90°). \qquad (1.9i)$$

Een analoge beschouwing voert tot het dubbeldaags maan- en zonsdeclinatiegetij $K_2$

$$fR\cos[2(T + h) - 2\nu'']. \qquad (1.9j)$$

Tafels voor $\nu'$ en $\nu''$ vindt men in het bovenaangehaalde „Manual of Harmonic Analysis".

## 1.10 Overzicht van de partiële getijden

De getijbeweging volgens de evenwichtstheorie geeft een serie partiële getijbewegingen, die, afgezien van kleine schommelingen in de amplitude in de loop van 18⅔ jaar, harmonische bewegingen zijn, die uitgedrukt worden door de formule: getijhoogte = ampl. × cos phase.

De getijden kan men splitsen in:

1°. langperiodieke getijden;
2°. enkeldaagse getijden;
3°. dubbeldaagse getijden.

De formules voor de amplituden worden bepaald door het product van 3 factoren: een gemeenschappelijke factor $U = \frac{Ma^3}{Ad^3}$, een geografische factor en een astronomische factor.

De astronomische factor voor de maansgetijden verandert in de loop van 18⅔ jaar. Is A de gemiddelde waarde, dan wordt de factor voor een bepaald tijdstip = fA. Voor de zonsgetijden is f = 1.

Voor de langperiodieke getijden is:

$$\frac{z}{a} = \tfrac{3}{4}\,U\left\{\tfrac{1}{2} - \tfrac{3}{2}\sin^2\varphi\right\} \times fA\cos(V + u).$$

Voor de enkeldaagse getijden:

$$\frac{z}{a} = \tfrac{3}{4}\,U\sin 2\varphi \times fA\cos(V + u).$$

Voor de dubbeldaagse getijden

$$\frac{z}{a} = \tfrac{3}{4}\,U\cos^2\varphi \times fA\cos(V + u).$$

(Voor de zonsgetijden U te vervangen door 0,46 U).

Voor de enkeldaagse getijden is $V + u = T + h$ — een combinatie van de grootheden $s$, $h$, $p$, $\xi$ en $\nu$ of $p_1$. $T + h$ is de sterretijd voor het beschouwde moment. Stelt men de combinatie van $s$, $h$, $p$, $\xi$ en $\nu$ gelijk aan de rechte klimming van een fictief hemellicht, dan is $V + u$ de uurhoek $P$ van dit hemellicht.

Bij de dubbeldaagse getijden is $V + u = 2\,(T + h)$ — een combinatie van $s$, $h$, $p$, enz. Stelt men deze combinatie gelijk aan $2 \times$ de rechte klimming van een fictief hemellicht, dan is voor de dubbeldaagse getijden $V + u = 2 \times$ de uurhoek $P$.

De enkeldaagse getijden geven dan:

$$\frac{z}{a} = \tfrac{3}{4}\,U\sin 2\varphi \times fA\cos P,$$

voor de dubbeldaagse vindt men

$$\frac{z}{a} = \tfrac{3}{4}\,U\cos^2\varphi \times fA\cos 2P.$$

Op blz. 16 is aangegeven, dat hieruit de Noordwaartse en de Westwaartse componenten van de getijkracht kunnen worden afgeleid, n.l.

$$N = \frac{g}{a}\,\frac{\partial z}{\partial\varphi}, \quad W = -\frac{g}{a\cos\varphi}\cdot\frac{\partial z}{\partial P}$$

Men vindt dan:

Noordwaartse component:

Langperiodieke termen $-\frac{9}{4}\,Ug\sin\varphi\cos\varphi \times fA\cos(V + u)$

Enkeldaagse termen $\frac{3}{2}\,Ug\cos 2\varphi \times fA\cos(V + u)$

Dubbeldaagse termen $-\frac{3}{2}\,Ug\sin\varphi\cos\varphi \times fA\cos(V + u)$

Westwaartse component:

Enkeldaagse termen $\frac{3}{2}\,Ug\sin\varphi \times fA\sin(V + u)$

Dubbeldaagse termen $\frac{3}{2}\,Ug\cos\varphi \times fA\sin(V + u)$.

Een overzicht van de verschillende getijden met de waarde van de astronomische factoren der amplituden en hun argumenten geeft onderstaande tabel.

Voor de zonsgetijden is de factor 0,46 in deze astronomische factoren opgenomen.

Tevens worden de gemiddelde waarden der astronomische factoren gegeven.

| Type en kenletter | Astronomische factor | Gem. waarde | Argument [1] | | Hoeksnelheid ($\Delta$ V per uur) | Zie formule |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | V | u | | |
| **Lang periodieke termen (maansgetij)** | | | | | | |
| Mm | $3\varepsilon\,(\frac{2}{3} - \sin^2 I)$ | 0,0827 | $s - p$ | 0 | 0°,5444 | 1.8x |
| Mf | $\sin^2 I$ | 0,1566 | $2s$ | $-2\xi$ | 1°,0980 | 1.8d |
| **Langperiodieke termen (zonsgetij)** | | | | | | |
| $S_a$ | $3\varepsilon_1 \times 0{,}46\,(\frac{2}{3} - \sin^2 \omega)$ | 0,0118 | $h - p_1$ | 0 | 0°,0411 | 1.9a |
| $S_{sa}$ | $0{,}46 \sin^2 \omega$ | 0,0728 | $2h$ | 0 | 0°,0821 | 1.9b |
| **Enkeldaagse termen (maansgetij)** | | | | | | |
| $O_1$ | $\sin I \cos^2 \frac{1}{2} I$ | 0,3800 | $T - 2s + h + 90°$ | $2\xi - \nu$ | 13°,9430 | 1.8h |
| $Q_1$ | $\frac{7}{2}\varepsilon \sin I \cos^2 \frac{1}{2} I$ | 0,0730 | $T - 3s + h + p + 90°$ | $2\xi - \nu$ | 13°,3987 | 1.8p |
| $M_1$ | $\frac{1}{2}\varepsilon \sin I \cos^2 \frac{1}{2} I$ | 0,0104 | $T - s + h - p - 90°$ | $2\xi - \nu$ | 14°,4874 | 1.8q |
| $M_1$ | $\frac{3}{2}\varepsilon \sin I \cos I$ | 0,0297 | $T - s + h + p - 90°$ | $-\nu$ | 14°,4967 | 1.8r |
| $K_1$ | $\sin I \cos I$ | 0,3623 | $T + h - 90°$ | $-\nu$ | 15°,0411 | 1.8g |
| $J_1$ | $\frac{3}{2}\varepsilon \sin I \cos I$ | 0,0297 | $T + s + h - p - 90°$ | $-\nu$ | 15°,5854 | 1.8s |
| $OO_1$ | $\sin I \sin^2 \frac{1}{2} I$ | 0,0163 | $T + 2s + h - 90°$ | $-2\xi - \nu$ | 16°,1391 | 1.8i |
| **Enkeldaagse termen (zonsgetij)** | | | | | | |
| $P_1$ | $0{,}46 \sin \omega \cos^2 \frac{1}{2} \omega$ | 0,1755 | $T - h + 90°$ | 0 | 14°,9589 | 1.9h |
| $K_1$ | $0{,}46 \sin \omega \cos \omega$ | 0,1681 | $T + h - 90°$ | 0 | 15°,0411 | 1.9g |
| **Enkeldaags maans-zonsgetij gecombineerd** | | | | | | |
| $K_1$ | — | 0,5305 | $T + h - 90°$ | $-\nu'$ | 15°,0411 | 1.9i |
| **Dubbeldaagse termen (maansgetij)** | | | | | | |
| $M_2$ | $\cos^4 \frac{1}{2} I$ | 0,9085 | $2T - 2s + 2h$ | $2\xi - 2\nu$ | 28°,9841 | 1.8e |
| $N_2$ | $\frac{7}{2}\varepsilon \cos^4 \frac{1}{2} I$ | 0,1759 | $2T - 3s + 2h + p$ | $2\xi - 2\nu$ | 28°,4397 | 1.8l |
| $L_2$ | $\frac{1}{2}\varepsilon \cos^4 \frac{1}{2} I$ | 0,0251 | $2T - s + 2h - p + 180°$ | $2\xi - 2\nu$ | 29°,5285 | 1.8m |
| $2N_2$ | $\frac{17}{4} \varepsilon^2 \cos^4 \frac{1}{2} I$ | 0,0235 | $2T - 4s + 2h + 2p$ | $2\xi - 2\nu$ | 27°,8954 | 1.8t |
| $\nu_2$ | $\frac{105}{16} m\varepsilon \cos^4 \frac{1}{2} I$ | 0,0341 | $2T - 3s + 4h - p$ | $2\xi - 2\nu$ | 28°,5126 | 1.8u |
| $\lambda_2$ | $\frac{15}{16} m\varepsilon \cos^4 \frac{1}{2} I$ | 0,0066 | $2T - s + p + 180°$ | $2\xi - 2\nu$ | 29°,4556 | 1.8v |
| $\mu_2$ | $\frac{27}{8} m^2 \cos^4 \frac{1}{2} I$ | 0,0219 | $2T - 4s + 4h$ | $2\xi - 2\nu$ | 27°,9682 | 1.8w |
| $K_2$ | $\frac{1}{2} \sin^2 I$ | 0,0786 | $2T + 2h$ | $-2\nu$ | 30°,0821 | 1.8f |
| $L_2'$ | $\frac{3}{4} \varepsilon \sin^2 I$ | 0,0064 | $2T - s + 2h + p$ | $-2\nu$ | 29°,5378 | 1.8n |
| $KJ_2$ | $\frac{3}{4} \varepsilon \sin^2 I$ | 0,0064 | $2T + s + 2h - p$ | $-2\nu$ | 30°,6265 | 1.8o |
| **Dubbeldaagse termen (zonsgetij)** | | | | | | |
| $S_2$ | $0{,}46 \cos^4 \frac{1}{2} \omega$ | 0,4227 | $2T$ | 0 | 30° | 1.9c |
| $T_2$ | $0{,}46 \times \frac{7}{2} \varepsilon_1 \cos^4 \frac{1}{2} \omega$ | 0,0248 | $2T - h + p_1$ | 0 | 29°,9589 | 1.9e |

[1]) Zie noot blz. 32.

| Type en kenletter | Astronomische factor | Gem. waarde | Argument [1]) V | u | Hoeksnelheid ($\Delta$ V per uur) | Zie formule |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Dubbeldaagse termen (zonsgetij) | | | | | | |
| $R_2$ | $0{,}46 \times \frac{1}{2}\, \varepsilon_1 \cos^4 \frac{1}{2}\, \omega$ | 0,0035 | $2T + h - p_1 + 180°$ | 0 | 30°,0411 | 1.9f |
| $K_2$ | $0{,}46 \times \frac{1}{2} \sin^2 \omega$ | 0,0365 | $2T + 2h$ | 0 | 30°,0821 | 1.9d |
| Dubbeldaags maans—zonsgetij gecombineerd | | | | | | |
| $K_2$ | — | 0,1151 | $2T + 2h$ | $-2\nu''$ | 30°,0821 | 1.9j |

Uit de gemiddelde waarde van de astronomische factoren kan men de onderlinge verhouding van de partiële termen van de getijsoorten (enkeldaags en dubbeldaags) beoordelen.

Van de enkeldaagse termen zijn $O_1$, $K_1$ en $P_1$ de belangrijkste. De overige te zamen hebben nog niet de waarde van de zwakste ($P_1$) der drie belangrijkste.

De termen $M_2$, $N_2$, $S_2$ en $K_2$ zijn de belangrijkste dubbeldaagse. De andere te zamen hebben ongeveer de waarde van de zwakste ($K_2$) van het genoemde viertal.

In vele gevallen beperkt men zich daarom tot de 7 belangrijkste getijden, die men dan aangeeft als

| | | |
|---|---|---|
| $M_2$ | dubbeldaags | middelbaar maansgetij |
| $S_2$ | „ | „ zonsgetij |
| $N_2$ | „ | maans-elliptisch getij |
| $K_2$ | „ | maans-zons declinatie getij |
| $K_1$ | enkeldaags | maans-zons declinatie getij |
| $O_1$ | „ | maans-declinatie getij |
| $P_1$ | „ | zons-declinatie getij |

[1]) Afgezien van de waarde u geeft Admiralty Manual of Tides (1941, herdruk 1944) blz. 57

voor $O_1$ $15°.z - 2s + 90°$

voor $K_1$ $15°.z - 90°$

en zet dan blz. 61 $15°.z = 15°.t + h - 180° - L$ (t is hierin aantal uren van M.T.G.).

$15°.t$ = M.T.G. in graden, $15°.t - L$ = M.T. plaats in graden.

Argument voor $O_1$ wordt dan M.T.pl — 180° + h — 2s + 90°

$K_1$ M.T.pl — 180° + h — 90°

Schureman „Manual of harmonic analysis and Prediction of Tides" en „Overzicht der Getijleer" geven voor

$O_1$ $T + h - 2s + 90°$

$K_1$ $T + h - 90°$

In bovenstaande betrekkingen is T de *Westelijke uurhoek* van de middelbare zon. Is t het aantal uren van de middelbare tijd, dan is $T = 15°.t \pm 180°$.

Voor $0^u$ M.T. is dus $T = 180°$.

Voor M.T. = $0^u$ geven Schureman, Getijleer en Admiralty Manual

$V_0$ voor $O_1$ $270° + h - 2s$,

voor $K_1$ $90° + h$.

# II. DE ANALYSE DER GETIJBEWEGING

## 2.1 De werkelijke getijbeweging

In het voorgaande is de getijbeweging volgens de evenwichtstheorie gesplitst in partiële bewegingen, die elk voor zich harmonisch verlopen.

Met ieder partieel getij van de evenwichtstheorie komt overeen een getijkracht, waarvan de componenten in de richting van meridiaan en parallel harmonisch verlopen met dezelfde perioden als het getij der evenwichtstheorie.

In de werkelijke getijbeweging komen dan volgens de grondstelling van Laplace eveneens partiële getijden voor, die harmonische bewegingen zijn en die dezelfde perioden hebben.

In het algemeen bestaat geen direct verband tussen de amplituden van het partiële getij der evenwichtstheorie en het overeenkomstige getij der werkelijke getijbeweging.

Daar de perioden van beide getijden gelijk zijn, is de phaseverandering per uur (de hoeksnelheid van het getij) ook dezelfde.

Het verloop van een harmonische beweging kan grafisch worden voorgesteld door de sinusoïde van fig. 2.1. Langs OX is een schaal voor tijdsverlopen, dus ook voor phasen, aangebracht, terwijl bij gegeven tijdstippen de getijhoogten als ordinaten zijn afgepast.

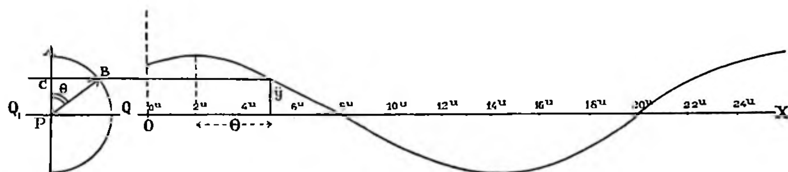



Fig. 2.1

Denkt men zich een cirkel met een straal gelijk aan de amplitude en zet men de phase $\Theta$ af als hoek APB, dan geeft de projectie van B op PA de waarde PC $= y = \text{ampl.} \times \cos \Theta$.

Draait dus PB in de getijperiode eenmaal rond, dan geeft de hoogte van B boven de gemiddelde waterstand $QPQ_1$ de waterstand op elk tijdstip.

Dit geldt zowel voor het getij der evenwichtstheorie als voor het overeenkomstige getij van de werkelijke beweging.

De phase van het werkelijk getij verschilt in het algemeen met de phase volgens de evenwichtstheorie.

Is dus in fig. 2.2 de phase volgens de evenwichtstheorie hoek APB en die volgens de werkelijke beweging hoek $APB_1$, dan zal, daar beide getijden dezelfde hoeksnelheid hebben, het phaseverschil $BPB_1$ een constante grootte hebben.

*Het bedrag, dat de phase van de werkelijke getijbeweging achter is op de phase volgens de evenwichtstheorie, heet het kappagetal $\varkappa$ van het betreffende partiële getij.*

Met een partieel getij $fA \cos (V + u)$ volgens de evenwichtstheorie komt dan overeen een partieel getij $fH \cos (V + u - \varkappa)$ in de werkelijke beweging.

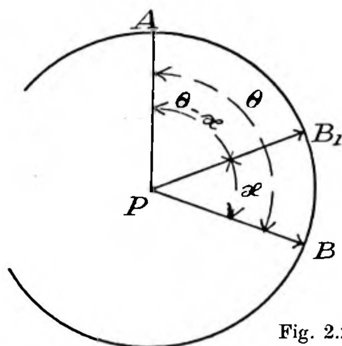



Fig. 2.2

H is hierin de amplitude van het werkelijke getij, dat zou bestaan als de amplitude volgens de evenwichtstheorie de waarde heeft, die als gemiddelde over een tijdsverloop van $18\frac{2}{3}$ jaar geldt.

Verder is f de reductiefactor (zie par. 1.8), met behulp waarvan de amplitude voor een bepaald tijdstip uit de gemiddelde waarde wordt afgeleid.

Ter bepaling van $V + u$ gaat men als regel uit van de waarde voor $0^u$ M.T., die verkregen wordt door in de betrekkingen op blz. 31 en 32 $T = 180°$ te nemen. In de Nederlandse literatuur wordt dit bedrag aangegeven als „Astronomisch argument" met de notatie $V_0$. Hier zal steeds de notatie $V_0 + u$ worden gebruikt. Engelse werken noemen deze waarde „initial argument" en bezigen daarvoor de notatie $E_0 + u$.

Het bedrag $V + u$ kan men aangeven door $V + u = pT + F$, waarin T de westelijke uurhoek van de middelbare zon en F een combinatie van middelbare maanslengte, middelbare zonslengte e.d., T en F beide voor het tijdstip van waarneming. Verder is $p = 0$ voor de lang-periodieke getijden, $p = 1$ voor de enkeldaagse getijden, $p = 2$ voor de dubbeldaagse getijden.

Is L de lengte van de plaats (WL positief, OL negatief nemend), $T_0$ de Westelijke uurhoek van de zon voor de meridiaan van Greenwich, dan is

$$T = T_0 - L, \text{ zodat}$$

$$V + u = (pT_0 + F) - pL.$$

$pT_0 + F$ is $V + u$ voor de meridiaan van Greenwich.

Men heeft dus $V + u$ voor de plaats $= V + u$ voor Greenwich $- pL$.

Rekent men de tijd naar een standaardtijd = M.T.G. — S, — waarin S de lengte van de meridiaan, waarvoor de standaardtijd geldt, in uren — dan komt $0^u$ standaardtijd overeen met M.T.G. S uur.

Is $V_0 + u$ de waarde van $V + u$ te Greenwich voor $0^u$ M.T.G., dan is $V + u$ voor $0^u$ standaardtijd (= S uur M.T.G.) $= V_0 + u + Sn$.

Men heeft dus

$V + u$ voor $0^u$ standaardtijd $= V + u$ voor Greenwich te $0^u$ M.T.G. $+ n S - p L$.

De tafels, waarmede men $V + u$ bepaalt, geven als regel deze waarde voor de meridiaan van Greenwich te $0^u$ M.T.G.

Wil men dus $V + u$ kennen voor $0^u$ standaardtijd en de meridiaan van de beschouwde plaats, dan moet op de tafelwaarden een correctie $nS - pL$ worden toegepast.

$V + u$ voor standaardtijd t uur is dan

$$V_0 + u + nS - pL + nt.$$

$fH \cos (V + u - \varkappa)$ gaat dan over in
$fH \cos (V_0 + u + nS - pL + nt - \varkappa)$.

Hierin is dus

$V_0 + u$ = de waarde van de phase volgens de evenwichtstheorie voor de meridiaan van Greenwich te $0^u$ M.T.G.
$n$ = de hoeksnelheid van het getij.
$S$ = de lengte van de standaardmeridiaan in uren (WL +, OL —).
$p$ = 0 voor langperiodieke getijden, 1 voor enkeldaagse en 2 voor dubbeldaagse getijden.
$L$ = de lengte van de plaats van waarneming (WL +, OL —).
$\varkappa$ = het kappagetal van het getij.
$t$ = standaardtijd in uren.

$\varkappa + pL - nS$ geeft men gewoonlijk aan door g.

*g is het gewijzigde kappagetal, waarin de correcties op* $V_0 + u$ *voor lengte en standaardtijd zijn opgenomen.*

Hiermede is dan de waterstand van een partieel getij t.o.v. de gemiddelde waterstand bepaald door

$$y = fH \cos (V_0 + u + nt - g).$$

Een periodieke beweging in het werkelijke getij is in het algemeen geen zuiver harmonische beweging.

Wel kan men dit praktisch aannemen als de waterdiepte groot en de amplitude van de beweging klein is t.o.v. de waterdiepte.

Bij geringe waterdiepte en grote amplitude is dit niet het geval.

Om een denkbeeld te geven van het effect van geringe waterdiepte wordt aangenomen, dat het getij wordt veroorzaakt door een lopende golf.

Is in fig. 2.3 AD het gemiddelde waterniveau, dan zal bij $E_1$ en $G_1$ het water in zijn hoogste stand, bij $F_1$ in zijn laagste stand staan, als het golfprofiel wordt aangegeven door AEBFCGD.

Bij een lopende golf verschuift het golfprofiel eenparig en behoudt het zijn vorm.

AC heet de golflengte, $AE_1$, $E_1B$, $BF_1$ en $F_1C$ zijn elk $\frac{1}{4}$ van de golflengte.

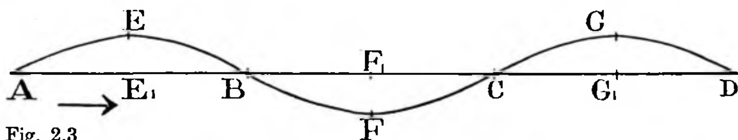


Fig. 2.3

Bij de verplaatsing van het golfprofiel in de richting van de pijl ziet een waarnemer in $G_1$ het water dalen tot het punt F van het profiel voorbijtrekt en daarna rijzen tot het punt E hem passeert.

De tijd van dalen van het water is voor hem gelijk aan de tijd van het stijgen van het water.

De verticale getijbeweging kan voor deze waarnemer uitgedrukt worden door een harmonische functie H cos (nt — $\alpha$), waarin t het aantal uren vanaf een bepaald tijdstip, n de phaseverandering per uur en — $\alpha$ de phase voor t = 0.

De snelheid van het verplaatsen van een punt van het golfprofiel blijkt af te hangen van de waterdiepte onder dat punt.

Op ondiep water wordt het verschil in snelheid van E en F merkbaar. De golftop verplaatst zich sneller dan het golfdal.

Hierdoor vervormt zich het golfprofiel tot de gedaante van fig. 2.4.

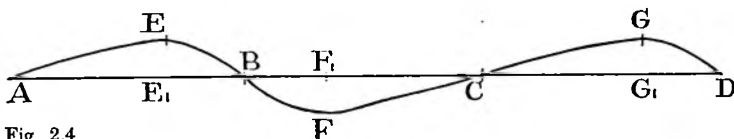



Fig. 2.4

Bij het voorbij trekken van de golf zal een waarnemer in $G_1$ het water langzamer zien dalen en sneller rijzen dan het geval was bij de niet vervormde golf.

De getijbeweging blijft wel periodiek, doch is niet meer een zuiver harmonische beweging.

Een periodieke beweging, die niet zuiver harmonisch is en waarvan de periode T = 360° : n, kan men splitsen in een reeks harmonische bewegingen met perioden T, $\frac{1}{2}$T, $\frac{1}{3}$T, $\frac{1}{4}$T enz.

De waterstand is dan bepaald door

$$y = A_0 + A_1 \cos nt + A_2 \cos 2nt + A_3 \cos 3nt + \dots$$
$$B_1 \sin nt + B_2 \sin 2nt + B_3 \sin 3nt + \dots$$

(reeks van Fourier)

$A_0$ is gemiddelde stand t.o.v. een gegeven niveau,
$A_1 \cos nt + B_1 \sin nt$ is een beweging met periode T,
$A_2 \cos 2nt + B_2 \sin 2nt$ is een beweging met periode $\frac{1}{2}$T,
$A_3 \cos 3nt + B_3 \sin 3nt$ is een beweging met periode $\frac{1}{3}$T.

Naast een $M_2$ getij kunnen dus voorkomen een $M_4$ getij, een $M_6$ getij, enz.
Naast een $S_2$ getij kunnen voorkomen een $S_4$ getij, een $S_6$ getij, enz.

Dergelijke getijden noemt men *ondiepwatergetijden* en wel, zoals later zal blijken, in dit speciale geval *nevengetijden*.

Bij bovenstaande beschouwingen is een lopende golf aangenomen, die veroorzaakt wordt door één partiëel getij.

Een lopende golf, veroorzaakt door verschillende partiële getijden, geeft aanleiding tot meer complicaties.

Wanneer een lopende golf wordt vervormd door verschil in snelheid van verschillende punten van het golfprofiel, blijken de uitwijkingen uit de gemiddelde

stand, veroorzaakt door de ondiepwatergetijden met een periode $\frac{1}{2}$T, evenredig te zijn met $y^2$.
Hierin is T de periode van het hoofdgetij en y de uitwijking uit de gemiddelde stand door het hoofdgetij.

Heeft men nu twee getijden, waarvan de amplituden zijn A en B, de argumenten a en b, dan is $y = A \cos a + B \cos b$.

Men kan nu ondiepwatergetijden verwachten, waarvan de amplituden evenredig zijn met $y^2$.

$$y^2 = A^2 \cos^2 a + B^2 \cos^2 b + 2\,AB \cos a \cos b =$$
$$\tfrac{1}{2}(A^2 + B^2) + \tfrac{1}{2}A^2 \cos 2a + \tfrac{1}{2}B^2 \cos 2b + AB \cos (a + b) + AB \cos (a - b).$$

Naast de harmonische bewegingen met de argumenten a en b komen dan bewegingen met de argumenten 2a, 2b, a + b en a — b, waarvan de amplituden zich verhouden als $\frac{1}{2}A^2$ $\frac{1}{2}B^2$ en AB.

Gaat men dus uit van een $M_2$ getij en een $S_2$ getij, waarvan de verhouding van de amplituden volgens de evenwichtstheorie is A : B = 0,908 : 0,423 dan komt men tot de volgende ondiepwatergetijden:

| | Rel. ampl. | Argument | Hoeksnelheid | Periode |
|---|---|---|---|---|
| $M_4$ | 0,41 | 2 × arg. $M_2$ | 57°,9682 | $6^u$ $12^m$ |
| $MS_4$ | 0,38 | arg. $M_2$ + arg. $S_2$ | 58°,9841 | $6^u$ $06^m$ |
| $S_4$ | 0,09 | 2 × arg. $S_2$ | 60° | $6^u$ $00^m$ |
| MSf | 0,38 | arg. $S_2$ — arg. $M_2$ | 1°,0159 | 14$\frac{3}{4}$ dag |

$M_4$, $MS_4$ en $S_4$ hebben een periode van ongeveer $\frac{1}{4}$ dag, MSf is een langperiodieke beweging die het Mf getij van de evenwichtstheorie beinvloedt.

Voert men de analyse verder door, dan blijken de uitwijkingen, veroorzaakt door ondiepwatergetijden met een periode van $\frac{1}{3}$ van die van het hoofdgetij, evenredig te zijn met $y^3$.
Algemeen blijkt, dat, naast twee getijden met argumenten a en b, ondiepwatergetijden mogelijk zijn met argumenten pa ± qb, waarin p en q gehele getallen of nul zijn.
Theoretisch is het aantal mogelijke ondiepwatergetijden, dat door invloed van ondiep water kan ontstaan, onbegrensd.

Men onderscheidt de ondiepwatergetijden in *nevengetijden* en *samengestelde getijden*.
Bij de nevengetijden is het argument een geheel veelvoud van een der getijden volgens de evenwichtstheorie. De index bij de kenletter geeft het aantal perioden per dag.
Deze getijden zijn dus o.a. $M_4$, $M_6$ en $S_4$.
De samengestelde getijden zijn dan die, waarvan het argument afhangt van de argumenten van twee getijden der evenwichtstheorie (o.a. $MS_4$ en MSf).

Het voorgaande geeft een denkbeeld van het ontstaan van ondiepwatergetijden. Een volledige wiskundige behandeling van het probleem der ondiepwatergetijden zou te ver voeren.

Door deze ondiepwatergetijden zal bij geringe waterdiepte en sterke getijbeweging de analyse van de getijbeweging dikwijls zeer lastig zijn.

Van te voren is niet uit te maken welke ondiepwatergetijden van belang zullen zijn.

## 2.2 De analyse der verticale getijbeweging

Voor de zeevaart is het dikwijls nodig voor een gegeven tijdstip te kunnen vaststellen wat de waterdiepte op een bepaalde plaats is. Had men te maken met een getijbeweging, die bepaald is door één harmonische functie van de gedaante

$$y = fH \cos (V + u - g),$$

dan behoeft men alleen H en g, benevens de diepte bij gemiddelde waterstand, te kennen om de waterdiepte te berekenen. De waarden van V + u en f hangen af van astronomische grootheden, die bij de analysering van de getijhoogte volgens de evenwichtstheorie werden afgeleid.

De verticale getijbeweging is echter een samenstel van een aantal partiële getijden, die elk voor zich harmonisch verlopen, zodat men voor het vaststellen van de waterdiepte voor een gegeven tijdstip van elk dier partiële getijden H en g zal moeten kennen.

De waarden van H en g van de partiële getijden, die men in rekening brengt, noemt men de *getijconstanten* voor de plaats, waarvoor men de getijbeweging wil kennen.

Om tot deze getijconstanten te komen moet de werkelijke getijbeweging ontleed of geanalyseerd worden in harmonische bewegingen. Deze ontleding noemt men de harmonische analyse van het getij.

Om deze analyse uit te voeren moet men beschikken over de waarnemingen van de waterstanden over een voldoend lang tijdverloop.

Deze waarnemingen worden ontleend aan de standen van een peilschaal of door opmetingen in het diagram van de waterbeweging, dat verkregen is aan een zelfregistrerende peilschaal.

Als regel noteert men de standen op volle uren.

Voor de uitvoering van de harmonische analyse van de waargenomen standen kan men op verschillende wijzen te werk gaan.

De belangrijkste van deze methoden zijn:

1°. De methode, die wordt toegepast door de U.S. Coast and Geodetic Survey.

2°. De methode, die uitgewerkt is door A. T. Doodson, directeur van het Tidal Institute te Liverpool.

Voor een volledige analyse is het nodig te beschikken over een lange reeks van waarnemingen, waarvoor men als regel neemt een reeks van ongeveer een jaar.

Wil men zich bepalen tot een benadering van de constanten van de voornaamste getijden, dan kan men volstaan met een kortere serie.

Door Doodson werd een methode aangegeven om uit series van 15 of van 29 dagen te komen tot een benadering van de constanten van $M_2$, $S_2$, $N_2$, $K_2$, $K_1$, $O_1$, $P_1$, $M_4$ en $MS_4$ getij.

Deze methode werd door hem ontwikkeld voor de Hydrografische Dienst van de Britse Admiraliteit en is bekend als de „Admiralty Methode".

De benadering uit een serie van 29 dagen volgens de Admiralty Methode zal hieronder worden besproken.

## 2.3 Benadering van getijconstanten uit een serie van 29 dagen

De getijbeweging bestaat, behalve uit getijden met lange perioden, in hoofdzaak uit drie getijsoorten: enkeldaagse getijden, dubbeldaagse getijden en viermaaldaagse getijden.

In de eerste plaats tracht men de beweging te splitsen in deze drie soorten.

De drie soorten hebben respectievelijk perioden van ongeveer $24^u$, $12^u$ en $6^u$, terwijl hun hoeksnelheden respectievelijk zijn ongeveer 15°, 30° en 60°.

Had men alleen te maken met getijden, waarvan de hoeksnelheden precies 15°, 30° en 60° waren, dan was de getijbeweging bepaald door

$$y = S_0 + R_1 \cos (15°.t + \alpha_1) + R_2 \cos (30°.t + \alpha_2) + R_4 \cos (60°.t + \alpha_4).$$

$S_0$ is hierin de hoogte van de middenstand (zie par. 3.3) boven het nulpunt van de peilschaal, terwijl $\alpha_1$, $\alpha_2$ en $\alpha_4$ de phasen zijn van de partiële getijden voor het tijdstip, waarvoor $t = 0$.

Men beschikt nu over de waarnemingen van de hoogten y, genomen op de volle uren van het etmaal, die men nummert $y_0$, $y_1$, $y_2$ enz. tot $y_{23}$ ($y_{24}$ is dan weer $y_0$ voor het volgende etmaal).

Als beginpunt van telling van de tijd neemt men het tijdstip $11^u\ 30^m$, zodat voor $y_0$ $t = -11{,}5$, voor $y_1$ $t = -10{,}5$ .... voor $y_{11}$ $t = -0{,}5$, voor $y_{12}$ $t = 0{,}5$ .... voor $y_{22}$ $t = 10{,}5$, voor $y_{23}$ $t = 11{,}5$.

Zet men $R_1 \cos \alpha_1 = A_1$, $R_1 \sin \alpha_1 = -B_1$, $R_2 \cos \alpha_2 = A_2$, $R_2 \sin \alpha_2 = -B_2$, $R_4 \cos \alpha_4 = A_4$, $R_4 \sin \alpha_4 = -B_4$, dan is:

$$y = S_0 + A_1 \cos 15°.t + B_1 \sin 15°.t + A_2 \cos 30_0.t + B_2 \sin 30°.t + \\ + A_4 \cos 60°.t + B_4 \sin 60°.t$$

Om nu $S_0$, $A_1$, $B_1$, enz. te bepalen, voert men verschillende sommaties uit, aangegeven door de symbolen $X_0$, $X_1$, $Y_1$, $X_2$, $Y_2$, $X_4$ en $Y_4$.

De sommatie $X_0$ bestaat uit het optellen van de 24 waterstanden van het etmaal.

Zet men $15°.t = x$, dan zijn voor deze standen achtereenvolgens $x_0 = -172°{,}5$, $x_1 = -157°{,}5$, $x_2 = -142°{,}5$ .... $x_{11} = -7°{,}5$, $x_{12} = +7°{,}5$ .... $x_{21} = 142°{,}5$, $x_{22} = 157°{,}5$, $x_{23} = 172°{,}5$.

De sommering bevat dus de termen:

$$\begin{array}{l} 24\ S_0 \\ A_1 (\cos x_0 + \cos x_1 + \cos x_2 + \ldots + \cos x_{22} + \cos x_{23}) \\ B_1 (\sin x_0 + \sin x_1 + \sin x_2 + \ldots + \sin x_{22} + \sin x_{23}) \\ A_2 (\cos 2x_0 + \cos 2x_1 + \cos 2x_2 + \ldots + \cos 2x_{22} + \cos 2x_{23}) \\ B_2 (\sin 2x_0 + \sin 2x_1 + \sin 2x_2 + \ldots + \sin 2x_{22} + \sin 2x_{23}) \\ A_4 (\cos 4x_0 + \cos 4x_1 + \cos 4x_2 + \ldots + \cos 4x_{22} + \cos 4x_{23}) \\ B_4 (\sin 4x_0 + \sin 4x_1 + \sin 4x_2 + \ldots + \sin 4x_{22} + \sin 4x_{23}) \end{array}$$

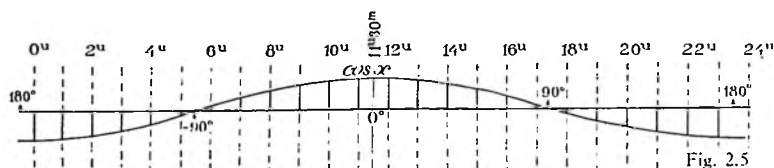


Fig. 2.5

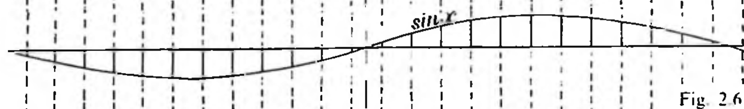


Fig. 2.6

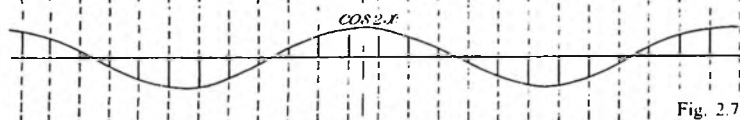


Fig. 2.7

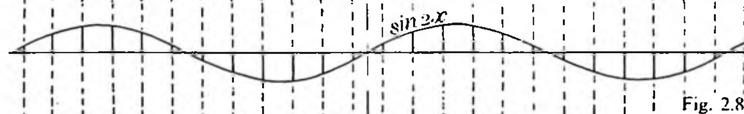


Fig. 2.8

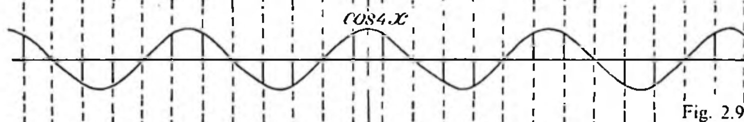


Fig. 2.9

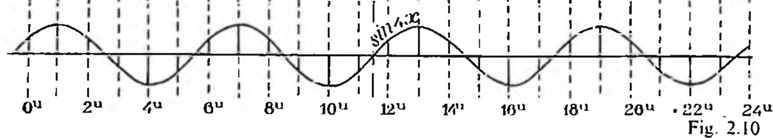


Fig. 2.10

Beschouwt men de figuren 2.5 t/m 2.10, waarin de getrokken ordinaten in figuur 2.5 de waarden van cos x, in fig. 2.6 die van sin x, in fig. 2.7 die van cos 2x, in fig. 2.8 die van sin 2x, in fig. 2.9 die van cos 4x en in fig. 2.10 die van sin 4x aangeven, dan blijken de termen in de factoren van $A_1$, $B_1$, $A_2$, $B_2$, $A_4$, $B_4$ twee aan twee gelijk, doch tegengesteld in teken te zijn.

In de sommatie worden dus de factoren van $A_1$, $B_1$, $A_2$, $B_2$, $A_4$ en $B_4$ alle nul.

Hieruit volgt $X_0 = 24 \times S_0$, waardoor $S_0$ bepaald is.

De sommatie $X_1$ bestaat hierin, dat de standen $y_0$, $y_1$, enz. worden vermenigvuldigd met + 1 als cos x positief en met —1 als cos x negatief is.

De waarde $S_0$ valt bij deze sommatie weg. Men krijgt $12 \times (+ S_0)$ en $12 \times (— S_0)$.

In $B_1 \sin x$, $A_2 \cos 2x$, $B_2 \sin 2x$, $A_4 \cos 4x$ en $B_4 \sin 4x$ komen in de sommatie $X_1$ telkens twee aan twee gelijke waarden met tegengesteld teken voor, zodat deze waarden in de sommatie een waarde 0 opleveren.

De factor van $A_1$ bevat de som van de absolute waarden van cos x en levert

$$4\ A_1 (\cos 7°{,}5 + \cos 22°{,}5 + \cos 37°{,}5 + \ldots + \cos 82°{,}5) = 15{,}322\ A_1.$$

Hiermede is dan $X_1 = 15{,}322\ A_1$.

Vermenigvuldigt men de uurstanden met + 1 als sin x positief en met — 1 als sin x negatief is, dan blijft in deze sommatie alleen $B_1$ over.

Deze sommatie wordt aangegeven door $Y_1$ en levert

$$Y_1 = 15{,}322\ B_1.$$

De sommatie $X_2$ wordt verkregen door de standen, waarbij cos 2x positief is met + 1 en die waarbij cos 2x negatief is, met — 1 te vermenigvuldigen.

In deze sommatie blijkt alleen $A_2$ over te blijven en is

$$X_2 = 8\ A_2 (\cos 15° + \cos 45° + \cos 75°) = 15{,}455\ A_2.$$

Op dezelfde wijze wordt voortgegaan.

Standen, waar sin 2x positief is, worden met + 1 en die, waar sin 2x negatief is, met — 1 vermenigvuldigd.

Sommatie geeft $Y_2 = 8B_2 (\sin 15° + \sin 45° + \sin 75°) = 15{,}455\ B_2$.

Standen waarvoor cos 4x positief is, worden met + 1 en die, waar cos 4x negatief is, met — 1 vermenigvuldigd. 4x kan hier een veelvoud van 90° zijn; de hierbij behorende standen worden met nul vermenigvuldigd.

Deze sommatie geeft $X_4 = 16\ A_4 \cos 30° = 13{,}856\ A_4$.

Analoog te werk gaande met factoren, ontleend aan het teken van sin 4x, vindt men $Y_4$

$$Y_4 = 8\ B_4 (\sin 30° + \sin 90° + \sin 150°) = 16\ B_4.$$

Men heeft dus het volgende schema voor de factoren, waarmede de waterstanden voor elk uur moeten worden vermenigvuldigd, om de verschillende sommaties te verkrijgen.

| | $0^u$ | $1^u$ | $2^u$ | $3^u$ | $4^u$ | $5^u$ | $6^u$ | $7^u$ | $8^u$ | $9^u$ | $10^u$ | $11^u$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_1$ | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $Y_1$ | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 |
| $X_2$ | 1 | 1 | 1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | 1 | 1 | 1 |
| $Y_2$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 |
| $X_4$ | 1 | 0 | —1 | —1 | 0 | 1 | 1 | 0 | —1 | —1 | 0 | 1 |
| $Y_4$ | 1 | 1 | 1 | —1 | —1 | —1 | 1 | 1 | 1 | —1 | —1 | —1 |

| | $12^u$ | $13^u$ | $14^u$ | $15^u$ | $16^u$ | $17^u$ | $18^u$ | $19^u$ | $20^u$ | $21^u$ | $22^u$ | $23^u$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_1$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 |
| $Y_1$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $X_2$ | 1 | 1 | 1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | 1 | 1 | 1 |
| $Y_2$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 | —1 |
| $X_4$ | 1 | 0 | —1 | —1 | 0 | 1 | 1 | 0 | —1 | —1 | 0 | 1 |
| $Y_4$ | 1 | 1 | 1 | —1 | —1 | —1 | 1 | 1 | 1 | —1 | —1 | —1 |

Een getijbeweging, die bestaat uit drie partiële getijden resp. met perioden $24^u$ ($S_1$), $12^u$ ($S_2$) en $6^u$ ($S_4$), is zo ontleed in zijn drie componenten.

$$\text{Voor } S_1 \text{ is } A_1 = X_1 : 15{,}322,\ B_1 = Y_1 : 15{,}322.$$
$$\text{Voor } S_2 \text{ is } A_2 = X_2 : 15{,}455,\ B_2 = Y_2 : 15{,}455.$$
$$\text{Voor } S_4 \text{ is } A_4 = X_4 : 13{,}856,\ B_4 = Y_4 : 16.$$

Men heeft dan b.v. voor $S_2$:

$$A_2 \cos 30^\circ.t + B_2 \sin 30^\circ.t = R_2 \cos (30^\circ.t + \alpha_2),$$

waaruit volgt: $R_2 \cos \alpha_2 = A_2,\ R_2 \sin \alpha_2 = —B_2;$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{—B_2}{A_2},\ R_2 = A_2 \sec \alpha_2 = —B_2 \operatorname{cosec} \alpha_2.$$

Om eventuele storingen in de getijbeweging te elimineren kan men de bewerking voor meerdere dagen uitvoeren en met de gemiddelde waarden van $X_2$ en $Y_2$ de berekening van $R_2$ en $\alpha_2$ uitvoeren.

De partiële getijden, waaruit de getijbeweging bestaat, hebben behalve $S_2$ geen perioden, die juist $24^u$, $12^u$ of $6^u$ zijn.

Voor een bepaald getij is de getijhoogte bepaald door $y = R \cos (nt + \alpha)$, waarin $\alpha$ de phase is voor $t = 0$ ($11^u\ 30^m$).

De Admiralty Tide Tables stellen $y = R \cos (nt — r)$, waarin $—r$ de phase voor $t = 0$.

$$R \cos (nt — r) = R \cos r \cos nt + R \sin r \sin nt.$$

Stelt men $nt = x$, dan is voor de tijdstippen $0^u$, $1^u$, $2^u$, enz. $x_0 = —11{,}5$ n, $x_1 = —10{,}5$ n, $x_2 = —9{,}5$ n, .... $x_{11} = —0{,}5$ n, $x_{12} = 0{,}5$ n, .... $x_{22} = 10{,}5$ n, $x_{23} = 11{,}5$ n.

Daar cos (—x) = cos x komt nu in de sommatie $X_0$ voor elk getij

$$2R \cos r (\cos 0{,}5\, n + \cos 1{,}5\, n + \cos 2{,}5\, n + \ldots + \cos 11{,}5\, n).$$

Om deze waarde in formule uit te drukken, gaat men als volgt te werk:

$$S = \cos 0{,}5\, n + \cos 1{,}5\, n + \ldots + \cos 10{,}5\, n + \cos 11{,}5\, n.$$

$$2\, S \sin 0{,}5\, n = (\sin n - \sin 0°) + (\sin 2n - \sin n) + \ldots + (\sin 11\, n - \sin 10\, n) + (\sin 12\, n - \sin 11\, n) = \sin 12\, n.$$

De factor voor $X_0$ wordt dus R cos r sin 12 n cosec 0,5 n.

Omdat sin (— x) = — sin x, verdwijnen de termen met R sin r in de sommatie. De factor sin 12 n cosec 0,5 n bedraagt voor de belangrijkste getijden

| $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | $M_4$ | $MS_4$ | 2MS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — 0,84 | 0 | — 1,31 | 0,06 | — 0,06 | 1,82 | 0,06 | — 0,85 | — 0,43 | — 1,71 |

Geeft men het aandeel R cos r van elk getij aan door zijn kenletter, dan is

$$X_0 = 24\, S_0 - 0{,}84\, M_2 - 1{,}31\, N_2 + 0{,}06\, K_2 - 0{,}06\, K_1 + 1{,}82\, O_1 + 0{,}06\, P_1 - 0{,}85\, M_4 - 0{,}43\, MS_4 - 1{,}71 .\, 2MS.$$

$X_0$ bevat dus wel in hoofdzaak $S_0$, doch ook termen die afhangen van de verschillende getijden. De middenstand kan dus niet zonder meer uit een dagserie worden bepaald.

In de sommatie $X_1$ komt voor een bepaald partiëel getij:

$$2\, R \cos r (\cos 0{,}5\, n + \cos 1{,}5\, n + \cos 2{,}5\, n + \cos 3{,}5\, n + \cos 4{,}5\, n + \cos 5{,}5\, n) - 2R \cos r (\cos 6{,}5\, n + \cos 7{,}5\, n + \cos 8{,}5\, n + \cos 9{,}5\, n + \cos 10{,}5\, n + \cos 11{,}5\, n).$$

Gaat men te werk als bij $X_0$ is gedaan, dan is de factor waarmede 2R cos r wordt vermenigvuldigd

$$\frac{(\sin 6\, n - \sin 0°) - (\sin 12\, n - \sin 6\, n)}{2 \sin 0{,}5\, n} = \frac{2 \sin 6\, n\, (1 - \cos 6\, n)}{2 \sin 0{,}5\, n}$$

$$= 2 \sin 6\, n \sin^2 3\, n\, \text{cosec}\, 0{,}5\, n.$$

De termen met R sin r geven als som 0.

Het aandeel van elk getij in de overige sommaties wordt:

In $X_2$

$$2\, R \cos r (\cos 0{,}5\, n + \cos 1{,}5\, n + \cos 2{,}5\, n - \cos 3{,}5\, n - \cos 4{,}5\, n - \cos 5{,}5\, n - \cos 6{,}5\, n - \cos 7{,}5\, n - \cos 8{,}5\, n + \cos 9{,}5\, n + \cos 10{,}5\, n + \cos 11{,}5\, n) =$$
$$- 8\, R \cos r \times \cos 6\, n \sin 3\, n \sin 1{,}5\, n\, (1 + 2 \cos n)$$

In $X_4$

$$2\, R \cos r (\cos 0{,}5\, n - \cos 2{,}5\, n - \cos 3{,}5\, n + \cos 5{,}5\, n + \cos 6{,}5\, n - \cos 8{,}5\, n - \cos 9{,}5\, n + \cos 11{,}5\, n) =$$
$$- 16\, R \cos r \times \cos 6\, n \cos 3\, n \sin 1{,}5\, n \sin n$$

In de sommeringen $Y_1$, $Y_2$ en $Y_4$ komen alleen de termen met R sin r voor, terwijl die met R cos r elkander opheffen.

Men vindt:

In $Y_1$

$$2 \text{ R} \sin r (\sin 0{,}5 \text{ n} + \sin 1{,}5 \text{ n} + \ldots . + \sin 11{,}5 \text{ n}) =$$
$$8 \text{ R} \sin r \times \sin 6 \text{ n} \cos 3 \text{ n} \cos 1{,}5 \text{ n} (1 + 2 \cos \text{n}).$$

In $Y_2$

$$2 \text{ R} \sin r (\sin 0{,}5 \text{ n} + \sin 1{,}5 \text{ n} + \sin 2{,}5 \text{ n} + \ldots . + \sin 5{,}5 \text{ n}) -$$
$$- 2 \text{ R} \sin r (\sin 6{,}5 \text{ n} + \sin 7{,}5 \text{ n} + \ldots . + \sin 11{,}5 \text{ n}) =$$
$$- 8 \text{ R} \sin r \times \cos 6 \text{ n} \sin 3 \text{ n} \cos 1{,}5 \text{ n} (1 + 2 \cos \text{n}).$$

In $Y_4$

$$2\text{R} \sin r (\sin 0{,}5 \text{ n} + \sin 1{,}5 \text{ n} + \sin 2{,}5 \text{ n} - \sin 3{,}5 \text{ n} - \sin 4{,}5 \text{ n} - \sin 5{,}5 \text{ n}$$
$$+ \sin 6{,}5 \text{ n} + \sin 7{,}5 \text{ n} + \sin 8{,}5 \text{ n} - \sin 9{,}5 \text{ n} - \sin 10{,}5 \text{ n} - \sin 11{,}5 \text{ n} ) =$$
$$- 8 \text{ R} \sin r \times \cos 6 \text{ n} \cos 3 \text{ n} \sin 1{,}5 \text{ n} (1 + 2 \cos \text{n}).$$

Voert men de berekeningen uit, dan vindt men in elk der sommaties $X_0$, $X_1$, $X_2$ en $X_4$ voor elk der partiële getijden als factor van R cos r de waarden die aangegeven zijn in tabel I.

TABEL I — Factor van R cos r

| | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | $M_4$ | $MS_4$ | 2MS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_0$ | — 0,84 | 0 | — 1,31 | 0,06 | — 0,06 | 1,82 | 0,06 | — 0,85 | — 0,43 | — 1,71 |
| $X_1$ | 1,69 | 0 | 2,63 | — 0,13 | 15,349 | 14,569 | 15,298 | — 0,02 | 0 | 3,46 |
| $X_2$ | 15,025 | 15,455 | 14,706 | 15,480 | 0,03 | — 0,62 | — 0,02 | — 1,70 | — 0,86 | 14,379 |
| $X_4$ | 0,28 | 0 | 0,42 | — 0,03 | 0 | — 0,05 | 0,00 | 13,165 | 13,600 | 0,52 |

In de sommeringen $Y_1$, $Y_2$ en $Y_4$ vindt men als factor van R sin r de waarden van tabel II.

TABEL II — Factor van R sin r

| | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | $M_4$ | $MS_4$ | 2MS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Y_1$ | 0,09 | 0 | 0,22 | 0 | 15,282 | 16,279 | 15,362 | 0,18 | 0,05 | 0,37 |
| $Y_2$ | 15,847 | 15,455 | 15,963 | 15,339 | 0,07 | — 1,62 | — 0,07 | — 0,09 | — 0,02 | 15,997 |
| $Y_4$ | 0,80 | 0 | 1,20 | — 0,07 | 0,03 | — 0,69 | — 0,03 | 16,000 | 16,120 | 1,54 |

Geeft men de waarde R cos r voor een partiëel getij aan door zijn kenletter, dan is b.v.

$$X_2 = 15{,}025 \text{ M}_2 + 15{,}455 \text{ S}_2 + 14{,}706 \text{ N}_2 + 15{,}480 \text{ K}_2 + 0{,}03 \text{ K}_1 - 0{,}62 \text{ O}_1 -$$
$$- 0{,}02 \text{ P}_1 - 1{,}70 \text{ M}_4 - 0{,}86 \text{ MS}_4 + 14{,}379. \text{ 2MS}$$

De combinaties $X_1$, $X_2$ en $X_4$ geven drie vergelijkingen, die een verband bepalen tussen de waarden R cos r der verschillende getijden.

Evenzo geven $Y_1$, $Y_2$ en $Y_4$ vergelijkingen, die de waarden van R sin r verbinden.

In $X_1$ en $Y_1$ komen de enkeldaagse, in $X_2$ en $Y_2$ de dubbeldaagse, in $X_4$ en $Y_4$ de viermaaldaagse getijden met de grootste factoren voor.

Om voor elk der getijden R cos r en R sin r te bepalen, is het aantal vergelijkingen onvoldoende.

Men beschouwt nu een waarnemingsserie van meerdere dagen en voert voor elke dag de aangegeven sommeringen uit.

Behalve voor $S_2$ hebben cos r en sin r van dag tot dag andere waarden. 360° — r is n.l. de phase van het getij te $11^u\ 30^m$ van het beschouwde etmaal.

De verandering van 360° — r per dag is gelijk aan 24 × de hoeksnelheid van het getij, waarbij men veelvouden van 360° aftrekt.

De toename m van 360° — r voor elke volgende dag voor de verschillende getijden is dan

| | | |
|---|---|---|
| $M_2$ m = — 24°,3815 | $K_1$ m = + 0°,9856 | $M_4$ m = — 48°,7630 |
| $S_2$ m = 0 | $O_1$ m = — 25°,3671 | $MS_4$ m = — 24°,3815 |
| $N_2$ m = — 37°,4465 | $P_1$ m = — 0°,9856 | 2MS m = — 48°,7630 |
| $K_2$ m = + 1°,9713 | | |

Is nu 360° — $r_0$ de phase te $11^u\ 30^m$ van de middelste dag van de waarnemingsreeks, d het rangnummer van de dag in de reeks verminderd met het rangnummer van de middelste dag, dan is $r = r_0 - dm$.

Voor een bepaald particel getij komt dan in elk der X sommeringen voor de waarde F R cos r = F R cos ($r_0$ — dm), waarin F de factor van Tabel I.

Stelt men F R cos $r_0$ = C, F R sin $r_0$ = D, dan is

$$F\ R \cos (r_0 - dm) = C \cos dm + D \sin dm.$$

Voor een waarnemingsreeks van 29 dagen doorloopt dm verschillende waarden. Alleen voor $S_2$ blijft dm constant 0°.

Vanaf het midden van de eerste waarnemingsdag tot dat van de laatste varieert dm voor de verschillende getijden de volgende bedragen:

$K_2$ 55°, $K_1$ en $P_1$ 27°,5, $M_2$ en $MS_4$ 682°,5, $N_2$ 1048°,5, $O_1$ 710°,5, $M_4$ en 2MS 1365°.

Bij een waarnemingsreeks van 29 dagen doorloopt dm voor $M_2$, $MS_4$ en $O_1$ ongeveer 2 × 360°, voor $N_2$ ongeveer 3 × 360° en voor $M_4$ en 2MS ongeveer 4 × 360°.

Zoals door de keuze van de factoren 1 en — 1 in $X_1$ en $Y_1$ de enkeldaagse getijden, in $X_2$ en $Y_2$ de dubbeldaagse en in $X_4$ en $Y_4$ de viermaaldaagse getijden sterk naar voren konden worden gebracht, kan men uit de dagelijkse waarden van $X_1$, $Y_1$, $X_2$, $Y_2$, $X_4$ en $Y_4$ sommaties vormen, die getijden met twee perioden per maand, drie perioden per maand en vier perioden per maand, elk voor zich, sterk doen uitkomen.

Deze nieuwe sommeringen geeft men aan door een tweede index aan de symbolen voor de vroegere sommeringen toe te voegen.

De tweede index 0 geeft een optelling aan van de voor elk etmaal verkregen waarden $X_1$, $Y_1$, $X_2$, $Y_2$, $X_4$ en $Y_4$.

De bijdrage C cos dm + D sin dm, die een getij voor elke dag geeft in de reeds uitgevoerde sommeringen, geeft in de sommering met tweede index 0

$$C\,[\cos(-14\,m) + \cos(-13\,m) + \ldots + \cos(-m) + \cos 0^\circ + \cos m + \ldots + \cos 13\,m + \cos 14\,m]$$

en

$$D\,[\sin(-14\,m) + \sin(-13\,m) + \ldots + \sin(-m) + \sin 0^\circ + \sin m + \ldots + \sin 13\,m + \sin 14\,m].$$

Omdat sin (— dm) = — sin dm, is de som, waarmede D wordt vermenigvuldigd, voor alle getijden gelijk aan nul.

Daar cos (— dm) = cos dm, is de som, waarmede C wordt vermenigvuldigd, niet nul.

Berekent men de factor van C voor de verschillende getijden, dan vindt men:

TABEL III

| $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | $M_4$ | $MS_4$ | 2MS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — 0,53 | 29 | — 0,16 | 27,822 | 28,702 | + 0,62 | 28,702 | — 0,54 | — 0,53 | — 0,54 |

De waarde C $\Sigma$ cos dm = (F $\Sigma$ cos dm) × R cos r in de sommeringen $X_{00}$, $X_{10}$, $X_{20}$ en $X_{40}$ wordt gevonden door de factoren van de verschillende getijden in $X_0$, $X_1$, $X_2$ en $X_4$ met de getallen uit tabel III te vermenigvuldigen.

Men vindt dan de waarden van Tabel IV.

TABEL IV Factor van R cos $r_0$ in de maandsommeringen

| | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | $M_4$ | $MS_4$ | 2MS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $X_{00}$ | + 0,45 | 0 | 0,22 | 1,67 | — 1,73 | 1,13 | 1,73 | 0,46 | 0,22 | 0,92 |
| $X_{10}$ | — 0,89 | 0 | — 0,41 | — 3,65 | 440,50 | 8,89 | 439,08 | 0 | 0 | — 1,88 |
| $X_{20}$ | — 8,01 | 448,20 | — 2,35 | 430,68 | 0,81 | — 0,38 | — 0,78 | 0,92 | 0,46 | — 7,75 |
| $X_{40}$ | — 0,15 | 0 | — 0,07 | — 0,69 | 0,14 | — 0,07 | — 0,07 | — 7,15 | — 7,37 | — 0,28 |

Geeft men de waarde R cos $r_0$ aan door de kenletter van het getij, dan is

$$X_{00} = 696\,S_0 + 0{,}45\,M_2 + 0{,}22\,N_2 + 1{,}67\,K_2 - 1{,}73\,K_1 + 1{,}13\,O_1 + 1{,}73\,P_1 + 0{,}46\,M_4 + 0{,}22\,MS_4 + 0{,}92.\,2MS,$$

zodat men de middenstand kan beschouwen te zijn $S_0 = X_{00} : 696$.

De sommering $X_{10}$ bevat voornamelijk de termen voor $K_1$ en $P_1$, de sommering $X_{20}$ voornamelijk $S_2$ en $K_2$.

In $X_{40}$ komt geen der getijden zo sterk op de voorgrond. Deze sommering laat men daarom achterwege.

De getijden $K_1$ en $P_1$ komen ongeveer met dezelfde factoren voor in $X_{10}$. Men beschouwt daarom $K_1$ en $P_1$ voorlopig als één getij, dat men als een $K_1$ getij behandelt.

Hetzelfde is het geval met $S_2$ en $K_2$ in $X_{20}$. Men beschouwt daarom beide getijden te zamen als een $S_2$ getij.

In elk der Y sommeringen geeft een bepaald getij F R sin r = F R sin ($r_0$ — dm), waarbij F de factor uit tabel II.

Zet men weer F R sin $r_0$ = D en F R cos $r_0$ = C, dan is

$$F\ R \sin (r_0 - dm) = D \cos dm - C \sin dm.$$

In de sommering van de Y waarden geeft elk getij dus een waarde D $\Sigma$ cos dm, waarin d loopt van — 14 tot + 14.

Met de reeds gevonden waarden voor $\Sigma$ cos dm worden dus de factoren van R sin $r_0$ in $Y_{10}$, $Y_{20}$ en $Y_{40}$ F $\Sigma$ cos dm (F de factor van tabel II, $\Sigma$ cos dm uit tabel III).

Men komt dan tot tabel V.

TABEL V — Factor van R sin $r_0$ in de maandsommeringen

| | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $M_4$ | $MS_4$ | 2MS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Y_{10}$ | — 0,05 | 0 | — 0,03 | 438,60 | 9,93 | — 0,10 | — 0,02 | — 0,20 |
| $Y_{20}$ | — 8,45 | 448,20 | — 2,55 | 1,92 | — 0,99 | 0 | 0,01 | — 8,70 |
| $Y_{40}$ | — 0,42 | 0 | — 0,19 | 0,78 | — 0,42 | — 8,64 | — 8,53 | — 0,83 |

Uit de tabellen IV en V volgt b.v. dat reeds een sterke benadering voor R cos $r_0$ en R sin $r_0$ van $S_2$ kan worden gevonden n.l.

$$R \cos r_0 = X_{20} : 448{,}20$$
$$R \sin r_0 = Y_{20} : 448{,}20$$

Evenzo kan als benadering van de waarden van $K_1$ gesteld worden

$$R \cos r_0 = X_{10} : 440{,}50$$
$$R \sin r_0 = Y_{10} : 438{,}60.$$

Zoals boven werd opgemerkt, doorloopt dm voor het $M_2$ getij in 28 dagen ongeveer 2 × 360°.

Evenals bij de dagseries een getij, dat in een etmaal twee perioden doorloopt, naar voren werd gebracht door de sommeringen met index 2, kan men door een geschikte sommering van de waarden $X_1$, $X_2$, $X_4$, $Y_1$, $Y_2$ en $Y_4$ die getijden naar voren brengen, waarvoor dm twee perioden per maand doorloopt.

Hiervoor voert men sommeringen uit aangegeven door tweede index 2 en door tweede index b.

Bij de sommatie met tweede index 2 worden de factoren + 1, als voor $M_2$ cos dm positief en — 1 als cos dm negatief is.

De sommatie met tweede index b geeft factoren + 1 als sin dm voor $M_2$ positief en — 1 als sin dm negatief is.

$X_{12}$ is dus de sommering van de waarden $X_1$, die voor ieder etmaal zijn verkregen, na vermenigvuldiging met de factoren voor tweede index 2.

De waarde dm voor het $N_2$ getij doorloopt ongeveer drie perioden per maand.

Men voert nu sommeringen uit met 2e index 3 en met 2e index c. Bij 2e index 3 is de factor 1 of — 1 naarmate cos dm voor $N_2$ positief of negatief is. Bij 2e index c is het teken dat van sin dm.

De waarde dm voor $M_4$ doorloopt ongeveer 4 perioden per maand.

Bij de sommeringen aangegeven door 2e index 4 wordt het teken van de factor bepaald door het teken van cos dm van $M_4$, bij die met 2e index d door het teken van sin dm voor $M_4$.

Tabel VI geeft de factoren voor deze sommeringen.

TABEL VI

| 2e ind. | Volgnummer waarnemingsdag | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| b | 0 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 3 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 |
| c | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 |
| d | 0 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

| 2e ind. | Volgnummer waarnemingsdag | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| b | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 3 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 |
| c | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 |
| 4 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 |
| d | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Voert men de sommaties uit voor cos dm en voor sin dm met de datumfactoren van tabel VI, dan vindt men als resultaat voor de verschillende partiële getijden de waarden van tabel VII.

TABEL VII

| 2e ind. | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $M_4$ | $MS_4$ | 2MS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 18,091 | 1 | 1,125 | 0,920 | 18,817 | — 2,032 | 18,091 | — 2,032 |
| b | 17,831 | 0 | 1,191 | 1,430 | 17,662 | — 0,821 | 17,831 | — 0,821 |
| 3 | 1,532 | 1 | 18,421 | 0,996 | 2,945 | — 0,362 | 1,532 | — 0,362 |
| c | — 2,758 | 0 | 18,381 | — 1,190 | 0,761 | 2,472 | — 2,758 | 2,472 |
| 4 | — 1,332 | 1 | 1,356 | 0,948 | — 1,443 | 18,191 | — 1,332 | 18,191 |
| d | 1,050 | 0 | — 1,548 | 0,612 | 0,294 | 16,600 | 1,050 | 16,600 |

Na vermenigvuldiging van de getallen van tabel VII met de factoren van R cos $r_0$ en R sin $r_0$ in de sommeringen $X_0$, $X_1$, $X_2$, $X_4$, $Y_1$, $Y_2$ en $Y_4$, die in tabellen I en II werden gegeven, vindt men de waarden van tabel VIII.

TABEL VIII

| | Factor van R cos r | | | Factor van R sin r | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $X_{12}$ | $X_{22}$ | $X_{42}$ | $Y_{12}$ | $Y_{22}$ | $Y_{42}$ |
| $M_2$ | 30.63 | 271,82 | 5,10 | 1,63 | 286,69 | 14,48 |
| $S_2$ | 0 | 15,455 | 0 | 0 | 15,455 | 0 |
| $N_2$ | 2,96 | 16,55 | 0,46 | 0,24 | 17,96 | 1,36 |
| $K_1$ | 14,12 | 0,03 | 0 | 14,06 | 0,06 | 0,03 |
| $O_1$ | 274.13 | — 11,64 | — 2,13 | 306,28 | — 30,47 | — 13,01 |
| $M_4$ | 0,04 | 3,47 | — 26,73 | — 0,37 | 0,18 | — 32,49 |
| $MS_4$ | — 0,04 | — 15,54 | 246,04 | 0,83 | — 0,41 | 291,63 |
| 2MS | — 7,02 | — 29,20 | — 1,06 | 0,75 | — 32,49 | — 3,12 |
| | $Y_{1b}$ | $Y_{2b}$ | $Y_{4b}$ | $X_{1b}$ | $X_{2b}$ | $X_{4b}$ |
| $M_2$ | — 1,61 | — 282,58 | — 14,26 | 30,18 | 267,94 | 5,03 |
| $S_2$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $N_2$ | — 0,26 | — 19,00 | — 1,43 | 3,13 | 17,51 | 0,50 |
| $K_1$ | — 21,90 | — 0,09 | — 0,04 | 21,99 | 0,04 | 0,01 |
| $O_1$ | — 287,53 | 28,60 | 12,21 | 257,34 | — 10,93 | — 2,00 |
| $M_4$ | 0,15 | — 0,08 | 13,22 | 0,02 | 1,41 | — 10,87 |
| $MS_4$ | — 0,82 | 0,41 | — 287,48 | — 0,04 | — 15,31 | 242,55 |
| 2MS | 0,30 | 13,21 | 1,27 | — 2,85 | — 11,88 | — 0,43 |
| | $X_{13}$ | $X_{23}$ | $X_{43}$ | $Y_{13}$ | $Y_{23}$ | $Y_{43}$ |
| $M_2$ | 2,55 | 22,63 | 0,42 | 0,14 | 23,87 | 1,21 |
| $S_2$ | 0 | 15,455 | 0 | 0 | 15,455 | 0 |
| $N_2$ | 48,47 | 270,92 | 7,66 | 3,96 | 294,05 | 22,13 |
| $K_1$ | 15,28 | 0,03 | 0 | 15,21 | 0,07 | 0,03 |
| $O_1$ | 42,90 | — 1,82 | — 0,33 | 47,94 | — 4,77 | — 2,04 |
| $M_4$ | 0,01 | 0,63 | — 4,83 | — 0,07 | 0,03 | — 5,87 |
| $MS_4$ | 0 | — 1,29 | 20.49 | 0,07 | — 0,03 | 24,28 |
| 2MS | — 1,27 | — 5,28 | — 0,19 | — 0,14 | — 5,87 | — 0,56 |
| | $Y_{1c}$ | $Y_{2c}$ | $Y_{4c}$ | $X_{1c}$ | $X_{2c}$ | $X_{4c}$ |
| $M_2$ | 0,25 | 43,76 | 2,21 | — 4,67 | — 41,49 | — 0,78 |
| $S_2$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $N_2$ | — 3,96 | — 293,35 | — 22,13 | 48,36 | 270,31 | 7,64 |
| $K_1$ | 18,21 | 0,08 | 0,03 | — 18,29 | — 0,03 | — 0,01 |
| $O_1$ | 12,38 | — 1,23 | — 0,53 | — 11,08 | 0,47 | 0,09 |
| $M_4$ | — 0,46 | 0,22 | — 39,64 | — 0,05 | — 4,23 | 32,61 |
| $MS_4$ | 0,13 | — 0,06 | 44,52 | 0,01 | 2,37 | — 37,56 |
| 2MS | — 0,91 | — 39,63 | — 3,80 | 8,56 | — 35,62 | 1,29 |
| | $X_{24}$ | $X_{44}$ | | $Y_{24}$ | $Y_{44}$ | |
| $M_2$ | — 20,09 | — 0,38 | | — 21.19 | — 1,07 | |
| $S_2$ | 15,455 | 0 | | 15,455 | 0 | |
| $N_2$ | 19,94 | 0,56 | | 21,63 | 1,63 | |
| $K_1$ | 0,03 | 0 | | 0,06 | 0.03 | |
| $O_1$ | 0,89 | 0,16 | | 2,34 | 1.00 | |
| $M_4$ | — 31,08 | 239,49 | | — 1,66 | 291,07 | |
| $MS_4$ | 1,15 | — 18,19 | | 0,03 | — 21,55 | |
| 2MS | 261,59 | 9,47 | | 291,01 | 27,93 | |

| | Factor van R cos r | | Factor van R sin r | |
|---|---|---|---|---|
| | $Y_{2d}$ | $Y_{4d}$ | $X_{2d}$ | $X_{4d}$ |
| $M_2$ | — 17,11 | — 0,86 | 16,22 | 0,30 |
| $S_2$ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $N_2$ | 24,70 | 1,86 | — 22,76 | — 0,64 |
| $K_1$ | — 0,04 | — 0,02 | 0,02 | 0 |
| $O_1$ | 0,48 | 0,20 | — 0,18 | — 0,03 |
| $M_4$ | 1,51 | — 265,60 | — 28,36 | 218,54 |
| $MS_4$ | 0,02 | — 17,40 | — 0,93 | 14,68 |
| 2MS | — 265,55 | — 25,48 | 238,69 | 8,64 |

Algemeen beschouwd komt men dus tot het volgende:

Op waarnemingsdag met volgnummer d is, als men de tijd telt vanaf $11^u\ 30^m$, op welk tijdstip van de middelste dag de phase gelijk is aan $-r_0$, de getijhoogte door een partiëel getij

$$y = R \cos (dm + nt - r_0).$$

Hieruit $y = R \cos (dm - r_0) \cos nt - R \sin (dm - r_0) \sin nt$.

De dagsommering $X_p$ geeft $\Sigma \pm \cos nt = F_p$ (factor van tabel I)

$$\Sigma \pm \sin nt = 0,$$

terwijl $Y_p$ geeft $\Sigma \pm \cos nt = 0$, $\Sigma \pm \sin nt = F'_p$ (tabel II).

Men heeft dus $X_p = F_p R \cos (dm - r_0) =$

$$F_p R \cos dm \cos r_0 + F_p R \sin dm \sin r_0$$

en $Y_p = - F'_p R \sin (dm - r_0) = - F'_p R \sin dm \cos r_0 + F'_p R \cos dm \sin r_0$.

De maandsommeringen met cijferindex geven $\Sigma \pm \cos dm = D$ en $\Sigma \pm \sin dm = 0$.

De maandsommeringen met letterindex geven $\Sigma \pm \cos dm = 0$ en $\Sigma \pm \sin dm = D'$.

Men heeft dus b.v.

$$X_{p2} = F_p D_2 R \cos r_0 \qquad Y_{p2} = F'_p D_2 R \sin r_0$$
$$X_{pb} = F_p D'_b R \sin r_0 \qquad Y_{pb} = - F'_p D'_b R \cos r_0$$

($D_2$ en $D'_b$ de factoren van tabel VII)

$$X_{p2} - Y_{pb} \text{ geeft } (F_p D_2 + F'_p D'_b) R \cos r_0$$
$$X_{pb} + Y_{p2} \qquad (F_p D'_b + F'_p D'_2) R \sin r_0$$

Aan de hand van tabel VIII kan men dus vergelijkingen opstellen, waaruit $R \cos r_0$ en $R \sin r_0$ van de verschillende getijden kunnen worden opgelost.

Geeft men $R \cos r_0$ aan door de kenletter van het getij, dan is b.v.

$$X_{23} = 22{,}63\ M_2 + 15{,}46\ S_2 + 270{,}92\ N_2 + 0{,}03\ K_1 - 1{,}82\ O_1 + 0{,}63\ M_4 - 1{,}29\ MS_4 - 5{,}28.\ 2MS.$$

Door geschikte combinaties van deze vergelijkingen komt men dan tot $R \cos r_0$ en $R \sin r_0$ voor elk der getijden.

Zo is b.v.

$$(X_{22} - Y_{2b}) + 0{,}07\,(X_{12} - Y_{1b}) - 0{,}03\,X_{20} - 0{,}06\,(X_{23} - Y_{2c}) + 0{,}03\,(X_{42} - Y_{4b}) =$$
$$558{,}87\,M_2 + 1{,}07\,S_2 + 2{,}06\,N_2 + 2{,}62\,K_1 - 1{,}30\,O_1 + 2{,}30\,M_4 + 0{,}19\,MS_4$$

dus praktisch $559 \times R \cos r_0$ voor $M_2$.

De factor van $R \cos r_0$ — en ook van $R \sin r_0$ — wordt aangegeven door P.

Voor het opstellen van deze eindvergelijkingen geven de Admiralty Tide Tables een schema, dat in de tafels 3a en 3b van dit werk is opgenomen.

Zijn nu met behulp van de gevonden betrekkingen $P\,R \cos r_0$ en $P\,R \sin r_0$ bepaald, dan kunnen de waarden van R en van $r_0$ hieruit worden afgeleid.

Daar $R = fH$, waarin f de reductiefactor voor de stand van de knopenlijn, kan men de amplitude H, die overeenkomt met de waarde $f = 1$ vinden.

$360° - r_0$ is de phase te $11^u\ 30^m$ van de middelste dag.

Is $V_0 + u$ de phase volgens de evenwichtstheorie te $0^u$ M.T.G. voor die dag, dan is $360° - r_0 = V_0 + u + 11{,}5n - g$

$$g \text{ volgt dus uit } g = V_0 + u + 11{,}5n + r_0.$$

De waarden van $V_0$, u en f vindt men m.b.v. de tafels achterin dit boekwerk, welke overgenomen werden uit Admiralty Tide Tables, Part III, tabellen 13 e.v.

Het $S_2$ getij, dat men uit de analyse vindt, is een combinatie van het $S_2$ getij en het $K_2$ getij voor de middelste dag van de waarnemingsreeks.

De hoeksnelheid van $K_2$ verschilt slechts 0°,08 met die van het $S_2$ getij, zodat beide getijden in een maandserie te weinig uiteenlopen om direct gescheiden te kunnen worden.

De Admiralty methode beschouwt het gevonden getij als een combinatie van $S_2$, $K_2$ en $T_2$ getij.

Om deze getijden te scheiden neemt de Admiralty methode aan, dat de amplituden van deze getijden zich verhouden als die van de overeenkomstige getijden van de evenwichtstheorie en dat de waarden van g voor de drie getijden dezelfde is.

Geeft men de amplituden aan door de kenletter der getijden, dan is volgens de evenwichtstheorie

$$K_2 = f \times 0{,}272\,S_2 \text{ en } T_2 = 0{,}059\,S_2.$$

De phasen der getijden volgens de evenwichtstheorie zijn (zie blz. 31 en 32):

$$S_2 = 2T,\ K_2 = 2T + 2h - 2\nu'',\ T_2 = 2T - h + p_1.$$

$p_1$ kan men constant nemen $= 282°$.

De Admiralty methode neemt als argument voor de splitsing het astronomisch argument van $K_1 = h - \nu' + 90° = \alpha$, zodat $2h - 2\nu'' = 2\alpha - 180° + 2\,(\nu' - \nu'')$, waarin $\nu' - \nu''$ kan worden verwaarloosd.

$$-h + p_1 = -\alpha + 90° - \nu' + 282° \text{ of practisch } 12° - \alpha.$$

Men heeft dan, als $\Theta$ de phase is van het $S_2$ getij

$$S_2 \cos \Theta + 0{,}272 \, f \, S_2 \cos (\Theta + 2\alpha - 180^\circ) + 0{,}059 \, S_2 \cos (\Theta + 12^\circ - \alpha) =$$

$$S_2 \left[ \{1 - 0{,}272 \, f \cos 2\alpha + 0{,}059 \cos (12^\circ - \alpha)\} \cos \Theta + \{0{,}272 \, f \sin 2\alpha - 0{,}059 \sin (12^\circ - \alpha)\} \sin \Theta \right].$$

Het getij, dat uit de analyse werd gevonden, geeft als phase te $11^u\,30^m$ $360^\circ - r_0$ en als amplitude R.

De Admiralty methode stelt nu $R = (1 + W) S_2$ en $360^\circ - r_0 = \Theta + w$; w is dus de correctie, die op $r_0$ moet worden toegepast om de phase van het $S_2$ getij te $11^u\,30^m$ te vinden.

De gevonden vergelijking voor de getijhoogte te $11^u\,30^m$ $R \cos r_0$ geeft dan $R \cos (\Theta + w) = R \cos \Theta \cos w - R \sin \Theta \sin w$.

Men heeft dan

$$S_2 [1 - 0{,}272 \, f \cos 2\alpha + 0{,}059 \cos (\alpha - 12^\circ)] = (1 + W) S_2 \cos w$$

$$S_2 [0{,}272 \, f \sin 2\alpha + 0{,}059 \sin (\alpha - 12^\circ)] = - (1 + W) S_2 \sin w,$$

waaruit volgt

$$\mathrm{tg}\, w = - \frac{0{,}272 \, f \sin 2\alpha + 0{,}059 \sin (\alpha - 12^\circ)}{1 - 0{,}272 \, f \cos 2\alpha + 0{,}059 \cos (\alpha - 12^\circ)}$$

$$1 + W = [1 - 0{,}272 \, f \cos 2\alpha + 0{,}059 \cos (\alpha - 12^\circ)] \sec w.$$

Men heeft dus $S_2 = R : (1 + W)$

en $g = V_0 + u + r_0 + w + 11{,}5n$, waarbij voor $S_2$ $V_0 + u = 0^\circ$.

De amplitude van $K_2$ is dan $0{,}272 \, S_2$.

Tafel 10 achter in dit boekwerk geeft met argument astronomisch argument van $K_1$ de waarden w en W voor $f = 1$. Heeft f een andere waarde, dan neemt men aan, dat w en W gelijk zijn aan de tafelwaarde, vermenigvuldigd met f.

Het $K_1$ getij, dat de analyse geeft, kan men beschouwen als de combinatie van $K_1$ en $P_1$ voor de middelste dag.

Aangenomen wordt, dat de waarde van g voor beide getijden dezelfde is en dat de amplituden zich verhouden als de amplituden volgens de evenwichtstheorie.

De phasen van $K_1$ en $P_1$ volgens de evenwichtstheorie zijn resp. $T + h - \nu' - 90^\circ$ en $T - h + 90^\circ$.

De amplitude van $K_1 = f \times$ de gemiddelde amplitude en die van $P_1 = 0{,}331 \times$ de gemiddelde amplitude van $K_1$.

Het verschil phase $K_1$ — phase $P_1 = 2h - \nu' - 180^\circ = \alpha$.

Is dus $\Theta$ de phase van $K_1$ te $11^u\,30^m$, dan is die van $P_1$ $\Theta - \alpha$.

Voor het gecombineerde getij is dus

$$f \, K_1 \cos \Theta + 0{,}331 \, K_1 \cos (\Theta - \alpha) = R \cos r_0,$$

waaruit

$$K_1 (f + 0{,}331 \cos \alpha) \cos \Theta + 0{,}331 \, K_1 \sin \alpha \sin \Theta = R \cos r_0.$$

De correctie op $r_0$ om de juiste g van $K_1$ te vinden is dan, analoog met de splitsing van het $S_2/K_2$ getij, bepaald door

$$K_1 (f + 0{,}331 \cos \alpha) = R \cos w = (1 + W) K_1 \cos w$$

$$0{,}331 K_1 \sin \alpha = - R \sin w = - (1 + W) K_1 \sin w$$

$$\operatorname{tg} w = - \frac{0{,}331 \sin \alpha}{f + 0{,}331 \cos \alpha}$$

$$1 + W = (f + 0{,}331 \cos \alpha) \sec w.$$

Met $\alpha$ als argument kan men w en W bepalen voor $f = 1$ met tafel 10. Heeft f een andere waarde dan 1, dan neemt men aan dat w en W gelijk zijn aan de tafelwaarden gedeeld door f.

De hoeksnelheid van het $N_2$ getij verschilt zeer weinig met die van het gewoonlijk verwaarloosde $\nu_2$ getij (zie blz. 31)

De amplitude van dit getij wordt aangenomen = 0,185 × amplitude $N_2$, terwijl voor g bij beide getijden dezelfde waarde wordt genomen.

Is $\Theta$ de phase van het $N_2$ getij, dan is die van het $\nu_2$ getij $\Theta$ + 3 × astronomisch argument van $M_2$ — 2 × astronomisch argument van $N_2$.

Men heeft dus met $\alpha = 3 \times (V_0 + u)$ voor $M_2 - 2 (V_0 + u)$ voor $N_2$,

$$f N_2 \cos \Theta + 0{,}185 f N_2 \cos (\Theta + \alpha) = R \cos r_0 = f (1 + W) N_2 \cos (\Theta + w).$$

Hieruit $1 + 0{,}185 \cos \alpha = (1 + W) \cos w$

$$0{,}185 \sin \alpha = (1 + W) \sin w.$$

Hierdoor zijn w en W bepaald. De reeds genoemde tafel 10 geeft w en W met $\alpha$ als argument.

Voor de uitwerking van deze analyse wordt verwezen naar het uitgewerkte voorbeeld 10.1 in hoofdstuk X van dit werk.

Tevens vindt men achter in dit boekwerk de getallen voor de analyse van een serie van 15 dagen.

De Admiralty Tide Tables geven bovendien een methode om uit een serie van $24^u$ een benadering te vinden van de getijconstanten van $M_2$, $S_2$, $K_1$ en $O_1$.

Op deze methode wordt niet ingegaan (Een bespreking hiervan komt voor in De Zee 1942, blz. 181—185 en 193—196).

### 2.4 Splitsing van amplitude bij $P_1/K_1$ en $K_2/S_2$

Bij de Admiralty methode worden voor de splitsing der $P_1$ en $K_1$ en der $K_2$ en $S_2$ getijden de theoretische verhoudingsgetallen resp. 0,331 en 0,272 aangenomen. Teneinde te beoordelen in hoeverre deze verhoudingsgetallen met de werkelijk voorkomende verhoudingen overeenstemmen, zijn hieronder van 79 plaatsen, verspreid over de aarde, de uit waarnemingen berekende verhoudingsgetallen nagegaan.

Hiertoe zijn die plaatsen uitgezocht, waar gedurende minstens één jaar uurwaarnemingen waren verricht en waar verder zo volledig mogelijk de constanten

waren berekend, waardoor allerlei, de verhoudingen $P_1/K_1$ en $K_2/S_2$ beïnvloedende, ondergeschikte getijden uitgeschakeld geacht mogen worden.

| | Aantal waarn. pl. | Gem. $P_1/K_1$ | $\mu$ m.f. enk. serie | $\mu_0$ m.f. gem. | Aantal waarn. pl. | Gem. $K_2/S_2$ | $\mu$ m.f. enk. serie | $\mu_0$ m.f. gem. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Series < 5 jaar . . . | 51 | 0,327 | 0,061 | 0,009 | 51 | 0,289 | 0,049 | 0,007 |
| Series > 5 jaar . . . | 28 | 0,320 | 0,026 | 0,005 | 28 | 0,281 | 0,027 | 0,005 |

Hieruit blijkt, dat tussen de series groter dan 5 jaar en kleiner dan 5 jaar geen noemenswaard verschil bestaat en dat in beide het theoretische verhoudingsgetal zeer goed benaderd wordt.

Een tiental jaarseries met *uur*waarnemingen in de Oost-Indische Archipel geven de volgende verhoudingen $P_1/K_1$ en $K_2/S_2$.

| | | $P_1/K_1$ | $K_2/S_2$ |
|---|---|---|---|
| Tandjoeng Priok . . . . . . . . . . . . | 3 jaar | 0,32 | 0,40 |
| Tjilatjap . . . . . . . . . . . . . . . | 3 „ | 0,24 | 0,29 |
| Emmahaven . . . . . . . . . . . . . | 2 „ | 0,31 | 0,28 |
| Semarang . . . . . . . . . . . . . | 3 „ | 0,32 | 0,44 |
| Og. Pangka . . . . . . . . . . . . . | 1 „ | 0,33 | 0,29 |
| Arisbaja . . . . . . . . . . . . . . . | 1 „ | 0,23 | 0,39 |
| Soerabaja . . . . . . . . . . . . . | 1 „ | 0,30 | 0,30 |
| Pasoeroean . . . . . . . . . . . . . | 1 „ | 0,33 | 0,26 |
| Gading . . . . . . . . . . . . . . . | 1 „ | 0,30 | 0,27 |
| Rembang . . . . . . . . . . . . . . | 2 „ | 0,32 | 0,39 |
| Karang Kleta . . . . . . . . . . . . | 1 „ | 0,32 | 0,17 |
| Ambon . . . . . . . . . . . . . . . | 3 „ | 0,32 | 0,25 |
| Bandjermasin . . . . . . . . . . . . | 1 „ | 0,27 | 0,49 |
| Gemiddelde . . . . . . . | | 0,30<br>$\mu$ = 0,03<br>$\mu_0$ = 0,01 | 0,32<br>$\mu$ = 0,09<br>$\mu_0$ = 0,03 |

Wederom wordt hier een goede overeenstemming geconstateerd tussen de gemiddelden der door waarnemingen bepaalde verhoudingsgetallen en de theoretische waarden dezer getallen. Opgemerkt wordt, dat in de Oost-Indische Archipel alleen de voornaamste getijden berekend werden.

Tenslotte zijn ook de verhoudingsgetallen nagegaan uit jaarseries met *driemaaldaagse* waarnemingen, hoofdzakelijk in de vorige eeuw in de Oost-Indische archipel verricht. Zie tabel op blz. 55.

De series met 3 × daagse waarnemingen blijken belangrijk minder goede uitkomsten te geven dan de series met uurwaarnemingen. De afwijkingen van de $P_1/K_1$ en $K_2/S_2$ verhoudingen van de theoretische verhoudingsgetallen moeten aan het onvoldoende waarnemingsmateriaal, waarover men toentertijd beschikte,

geweten worden. In de Oost-Indische Archipel berusten de bekende berekende getij-constanten hoofdzakelijk op 3 × daagse waarnemingsseries. Het overnemen van het verhoudingsgetal van de naastbijliggende plaats met bekende constanten, zoals tot heden bij benadering van constanten gebeurde, is daarom niet juist.

| | | $P_1/K_1$ | $K_2/S_2$ |
|---|---|---|---|
| Edam | 3 jaar | 0,33 | 0,25 |
| Lho Seumawe | 3 „ | 0,38 | 0,28 |
| Ampenan | 2 „ | 0,54 | 0,25 |
| Poeloe Nangka | 3 „ | 0,24 | 0,67 |
| Bengkalis | 1 „ | 2,00 | 0,14 |
| K. Ladjau | 1 „ | 0,23 | 0,86 |
| Kintong | 1 „ | 0,72 | 0,21 |
| Tifoe | 1 „ | 0,35 | 1,17 |
| Laiwoei | 1 „ | 0,50 | 0,30 |
| Banda | 2 „ | 0,30 | 0,27 |
| Laboean | 1 „ | 0,23 | 0,47 |
| Singkel | 3 „ | 0,26 | 0,23 |
| Bagan Si Api Api | 1 „ | 0,57 | 0,14 |
| Gemiddelde | | 0,51 | 0,40 |
| | | $\mu = 0{,}47$ | $\mu = 0{,}31$ |
| | | $\mu_0 = 0{,}13$ | $\mu_0 = 0{,}09$ |

De verschillen tussen de resultaten der getijanalyse en de theoretische verhoudingen vinden, behalve in de verwaarlozing van de onbelangrijke getijden als b.v. het $Q_2$, $T_2$ en andere getijden, welke in de vroegere analysen niet werden ver werkt, ook hun oorzaak in de meteorologische invloeden. De dagelijkse land- en zeewind zal door zijn enkeldaags karakter en door de jaarlijkse variatie, welke er in bestaat (moessons), voornamelijk de $K_1$ en $P_1$ beïnvloeden, waarschijnlijk in tegengestelde richting. Daar de meteorologische invloeden nog weer aan allerlei variaties onderhevig kunnen zijn, dient, om deze bij de analyse zoveel mogelijk te kunnen elimineren, voor een bepaalde plaats beschikt te kunnen worden over vele jaren van waarneming. Alleen indien een analyse hierop berust, verdienen de uit de analyse gevonden verhoudingen van $P_1/K_1$ en $K_2/S_2$ voor de betrokken plaats de voorkeur boven de theoretische verhoudingen. Wordt hierover niet beschikt en dus zeker bij de benadering van constanten uit een 29 daagse of 15 daagse serie, dan dient voor de splitsing der $P_1/K_1$ en $K_2/S_2$ getijden het theoretische verhoudingsgetal der evenwichtstheorie van resp. 0,331 ($\pm \frac{1}{3}$) en 0,272 ($\pm \frac{1}{4}$) gebruikt te worden.

Bij gebruik van 2 series met voldoende tijdsinterval zal een daaruit berekende splitsing der getijden geen beter resultaat opleveren dan de theoretische verhoudingsgetallen; de waarnemingsperioden zijn te kort om storende invloeden te elimineren.

### 2.5 Beschouwing der verschillen in g van $P_1$ t.o.v. $K_1$ en van $K_2$ t.o.v. $S_2$

Om g van $P_1$ uit g van $K_1$ en g van $O_1$ af te leiden, gaat men uit van de aanname, dat voor getijden, die weinig in hoeksnelheid verschillen, het verschil der kappa-

getallen evenredig is met het verschil van hun hoeksnelheden. Practisch komt men dan tot:

$$g\ P_1 = g\ K_1 - 0{,}075\ (g\ K_1 - g\ O_1).$$

Analoog kan de g van $K_2$ afgeleid worden uit g $S_2$ en g $M_2$ door:

$$g\ K_2 = g\ S_2 + 0{,}081\ (g\ S_2 - g\ M_2).$$

Voor 51 plaatsen verspreid over de wereld, waar korter dan 5 jaar uurwaarnemingen waren verricht, was gemiddeld de theoretische g $P_1$ 0°,5 groter dan de analytische g $P_1$ en de theoretische g $K_2$ gemiddeld 7° groter dan de analytische g $K_2$.

Voor 28 plaatsen, verspreid over de wereld en alwaar langer dan 5 jaar uurwaarnemingen waren verricht, gaf de door de analyse bepaalde $P_1$ en $K_2$ goede overeenstemming met de theoretische $P_1$ en $K_2$. De theoretische g $P_1$ was gemiddeld 0°,6 kleiner dan de analytische g $P_1$. De theoretische g $K_2$ was gemiddeld 6°,3 groter dan de analytische g $K_2$.

| | Gem. △ (theor. g $P_1$ — anal. g $P_1$) | | Gem. △ (theor. g $K_2$ — anal. g $K_2$) | |
|---|---|---|---|---|
| 51 series < 5 jaar . . . . . | + 0°,5 | $\mu$ = 10°,6<br>$\mu_0$ = 1°,5 | + 7°,0 | $\mu$ = 9°,8<br>$\mu_0$ = 1°,4 |
| 28 series > 5 jaar . . . . . | — 0°,6 | $\mu$ = 3°,6<br>$\mu_0$ = 0°,7 | + 6°,3 | $\mu$ = 4°,7<br>$\mu_0$ = 0°,9 |

Voor 13 plaatsen in de Oost-Indische Archipel, waar jaarseries met uurwaarnemingen waren verricht, werd het verschil nagegaan tussen de theoretisch afgeleide g van $P_1$ en $K_2$ en de uit de analyse berekende g van $P_1$ en $K_2$. De theoretische g van $P_1$ bleek gemiddeld 5° kleiner te zijn dan de analytische g van $P_1$, terwijl de theoretische g van $K_2$ 5° groter was dan de analytische g van $K_2$.

Hetzelfde vergelijkingsonderzoek werd verricht voor 13 plaatsen, waar jaarseries met 3 × *daagse* waarnemingen waren gedaan. Hier bleek de theoretische g van $P_1$ 11° kleiner te zijn dan de uit de analyse berekende g van $P_1$ en bleek de theoretische g van $K_2$ 13° groter te zijn dan de uit de analyse berekende g van $K_2$.

| | Gem. △ (theor. $P_1$ — anal. $P_1$) | | Gem. △ (theor. $K_2$ — anal. $K_2$) | |
|---|---|---|---|---|
| 13 jaarseries *uurwaarn.* . . . | — 5° | $\mu$ = 9°,6<br>$\mu_0$ = 2°,7 | + 5° | $\mu$ = 34°,9<br>$\mu_0$ = 9°,7 |
| 13 jaarseries 3 × *daagse* waarn. | — 11° | $\mu$ = 73°,3<br>$\mu_0$ = 20°,3 | + 13° | $\mu$ = 33°,8<br>$\mu_0$ = 9°,4 |

Ook hierin blijken de series met 3 × daagse waarnemingen belangrijk achter te staan bij de series met uurwaarnemingen.

Men zal dus ook hier weer bij de berekening van g voor $P_1$ en $K_2$, indien men niet beschikt over één of meer jaarseries met uurwaarnemingen, de voorkeur dienen te geven aan de theoretisch (uit de evenwichtsverhoudingen) bepaalde waarden boven die, welke uit een analyse benaderd zouden worden.

## 2.6 Bepaling van de getijconstanten uit een jaarserie

De boven besproken methode voor het bepalen van de getijconstanten van de voornaamste getijden uit een maandserie kan alleen een benadering zijn van deze constanten. De getijden $K_2$ en $P_1$ kan men bovendien alleen daaruit afleiden door het aannemen van bepaalde verhoudingen en het aannemen van bepaalde waarden van g.
Om tot een nauwkeurige waarde van de getijconstanten van de verschilllende partiële getijden te komen moet men over een langere waarnemingsreeks beschikken. Als regel neemt men daarvoor een jaarserie.

Van de methoden, die in gebruik zijn om uit een jaarserie de constanten der partiële getijden te berekenen, wordt hier alleen genoemd de methode van het Tidal Institute te Liverpool. De benaderingsmethode voor het analyseren van een maandserie is uit deze methode afgeleid.

De analyse van het Tidal Institute gebruikt de volgende notaties:

$R \cos(\sigma t - \varepsilon)$ is de getijhoogte van een partiëel getij, waarvan de hoeksnelheid $\sigma$ en de phase, voor $t = 0$, gelijk is aan $360° - \varepsilon$.

Het tijdstip $t = 0$ is $0^u$ voor de middelste dag van de jaarserie.

De dagen van de serie worden genummerd T, waarbij $T = 0$ geldt voor de middelste dag.

Het volgnummer van de middelste dag van een bepaalde maandserie uit de reeks wordt aangegeven door $\bar{T}$.

$T - \bar{T}$ is het verschil in volgnummer van een bepaalde dag met de middelste dag van de beschouwde maandserie.

$24\,\sigma = \varrho \pm$ veelvouden van 360°.

Is H een bepaald uur van de dag met volgnummer T, dan heeft men dus

$$R \cos(\sigma t - \varepsilon) = R \cos(\varrho T + \sigma H - \varepsilon) =$$
$$R \cos(\varrho T - \varepsilon) \cos \sigma H - R \sin(\varrho T - \varepsilon) \sin \sigma H.$$

Evenals bij de behandelde benaderingsmethode voert men nu voor elke dag sommeringen uit, aangegeven door $X_0$, $X_1$, $X_2$, $X_3$ enz., $Y_1$, $Y_2$, $Y_3$ enz.

Tabellen in de handleiding voor de methode geven de factoren voor deze sommeringen. Terwijl bij de benaderingsmethode uitsluitend factoren $+1$, $0$ en $-1$ werden gebruikt, worden hier factoren $+4$, $+2$, $+1$, $0$, $-1$, $-2$, $-4$ aangegeven en worden bij de sommeringen ook enkele waarnemingen in het vorige etmaal en in het volgende etmaal genomen. Men verkrijgt hierdoor een scherpere scheiding van de getijsoorten (enkeldaags, dubbeldaags, enz.) dan met de factoren van de benaderingsmethode.

Een bepaalde sommering, b.v. $X_2$, geeft nu

$$X_2 = R \cos(\varrho T - \varepsilon)\, \Sigma f \cos \sigma H - R \sin(\varrho T - \varepsilon)\, \Sigma f \sin \sigma H =$$
$$S_c R \cos(\varrho T - \varepsilon) - S_s R \sin(\varrho T - \varepsilon), \text{ wat herleid wordt tot}$$

$$X_2 = J R \cos(\varrho T - \varepsilon + \eta) \text{ waarin } \operatorname{tg} \eta = \frac{S_s}{S_c} \text{ en } J = S_c \sec \eta = S_s \operatorname{cosec} \eta.$$

De $Y_2$ sommatie geeft eenzelfde J, doch een andere $\eta$, zodat

$$Y_2 = J R \cos(\varrho T - \varepsilon + \eta').$$

Men vormt nu $A_2 = X_2 + Y_2 = 2 J R \cos\left(\varrho T - \varepsilon + \frac{\eta + \eta'}{2}\right) \cos \frac{\eta - \eta'}{2}$,

$$B_2 = X_2 - Y_2 = -2 J R \sin\left(\varrho T - \varepsilon + \frac{\eta + \eta'}{2}\right) \sin \frac{\eta - \eta'}{2}.$$

Men stelt $a_2 = 2 J \cos \frac{\eta - \eta'}{2}$, $b_2 = 2 J \sin \frac{\eta - \eta'}{2}$ en $\frac{\eta + \eta'}{2} = \Delta$, $\varepsilon - \Delta = \delta$.

De voor elke dag gevormde sommeringen leveren dus

$$A_2 = a_2 R \cos(\varrho T - \delta) \text{ en } B_2 = - b_2 R \sin(\varrho T - \delta).$$

Tabellen in de handleiding voor de analyse geven de waarden van $a_p$, $b_p$ en $\Delta$.

Nu is $\varrho T = \varrho \overline{T} + \varrho (T - \overline{T})$, waarmede

$A_p = a_p R \cos(\varrho \overline{T} - \delta) \cos \varrho (T - \overline{T}) - a_p R \sin(\varrho \overline{T} - \delta) \sin \varrho (T - \overline{T})$

$B_p = - b_p R \sin(\varrho \overline{T} - \delta) \cos \varrho (T - \overline{T}) - b_p R \cos(\varrho \overline{T} - \delta) \sin \varrho (T - \overline{T})$.

Men voert nu weer maandsommeringen uit als bij de benaderingsmethode, waarbij de factoren in een tabel worden gegeven. Deze factoren zijn niet dezelfde als bij de benaderingsmethode. De sommeringen worden weder aangegeven door een tweede index, die of een cijfer, of een letter is.

Voor die met cijferindex zijn de factoren d zo gekozen, dat $\Sigma d \sin \varrho (T - \overline{T}) = 0$, voor die met de letterindex zo, dat $\Sigma d \cos \varrho (T - \overline{T}) = 0$.

Men heeft dus b.v.

$$A_{p2} = a_p D_2 R \cos(\varrho \overline{T} - \delta) = a_p D_2 R \cos \delta \cos \varrho \overline{T} + a_p D_2 R \sin \delta \sin \varrho \overline{T}$$
$$A_{pb} = - a_p D_b R \sin(\varrho \overline{T} - \delta) = - a_p D_b R \cos \delta \sin \varrho \overline{T} + a_p D_b R \sin \delta \cos \varrho \overline{T}$$
$$B_{p2} = - b_p D_2 R \sin(\varrho \overline{T} - \delta) = - b_p D_2 R \cos \delta \sin \varrho \overline{T} + b_p D_2 R \sin \delta \cos \varrho \overline{T}$$
$$B_{pb} = - b_p D_b R \cos(\varrho \overline{T} - \delta) = - b_p D_b R \cos \delta \cos \varrho \overline{T} - b_p D_b R \sin \delta \sin \varrho \overline{T}$$

Met de verkregen waarden voor elke maand worden sommeringen uitgevoerd aangegeven door een derde index, die of een cijfer, of een letter is.

Voor de sommeringen, aangegeven door een cijfer, zijn de maandfactoren zo, dat $\Sigma m \sin \varrho \overline{T} = 0$, voor die met letterindex zo, dat $\Sigma m \cos \varrho \overline{T} = 0$.

Men heeft dus b.v.

$$A_{p22} = a_p D_2 M_2 R \cos \delta \qquad B_{p22} = b_p D_2 M_2 R \sin \delta$$

$$A_{p2b} = a_p D_2 M_b R \sin \delta \qquad B_{p2b} = - b_p D_2 M_b R \cos \delta$$

$$A_{pb2} = a_p D_b M_2 R \sin \delta \qquad B_{pb2} = - b_p D_b M_2 R \cos \delta$$

$$A_{pbb} = - a_p D_b M_b R \cos \delta \qquad B_{pbb} = - b_p D_b M_b R \sin \delta$$

De handleiding voor de analyse geeft voor de verschillende getijden en sommeringen de waarden van de factoren a, b, D en M.

Door de keuze der factoren voor de dagsommeringen, voor de maandsommeringen en voor de jaarsommeringen komt nu in $A_{pqr}$ en $B_{pqr}$ dat getij het sterkst naar voren, dat per etmaal p perioden en waarvoor $\varrho$ (T — $\bar{T}$) in een maand q perioden doorloopt, terwijl $\varrho\, \bar{T}$ in een jaar r perioden vertoont.

Ieder der combinaties $A_{pqr}$ of $B_{pqr}$ bevat R cos $\delta$ of R sin $\delta$ van elk der getijden, zodat een aantal vergelijkingen ontstaan, waaruit R cos $\delta$ of R sin $\delta$ van een bepaald getij kan worden gevonden.

De handleiding voor de analyse geeft een schema, dat aangeeft welke combinaties nodig zijn om R cos $\delta$ of R sin $\delta$ voor een bepaald getij af te leiden.

Zijn R cos $\delta$ en R sin $\delta$ gevonden, dan volgen hieruit R en $\delta$. Is f de reductiefactor voor het getij voor de middelste dag van het jaar, H de gemiddelde amplitude, dan is $R = fH$. H kan dus bepaald worden.

Verder is $\delta = \varepsilon - \triangle$, terwijl $\varepsilon = 360° -$ de phase te $0^u$ voor de middelste dag $= - (V_0 + u - g)$.

Hieruit volgt dan $g = V_0 + u + \triangle + \delta$.

Bij de practische uitvoering worden $A_p$ en $B_p$ niet direct uit $X_p$ en $Y_p$ afgeleid. Men vormt $X_{pqr}$ en $Y_{pqr}$ en daarna $A_{pqr} = X_{pqr} + Y_{pqr}$ en $B_{pqr} = X_{pqr} - Y_{pqr}$.

Uit de jaarserie kan men getijden zoals $K_2$ en $S_2$ en $K_1$ en $P_1$ vinden zonder een onderstelling over hun amplituden of de waarden van g te maken.

Voor $K_1$ en $P_1$ zijn de perioden van $\varrho$ (T — $\bar{T}$) en $\varrho\, \bar{T}$ gelijk, doch zijn de tekens van $\varrho$ (T — T) en $\varrho\, \bar{T}$ verschillend.

Beide komen voor zowel in $A_{101}$ als in $B_{10a}$.

Afgezien van het aandeel der andere getijden in deze sommeringen is, als men R cos $\delta$ aangeeft door de kenletter van het getij, $A_{101} = m K_1 + n P_1$ en

$$B_{10a} = m' K_1 - n' P_1.$$

Deze combinaties geven dus gelegenheid $K_1$ en $P_1$ te bepalen.

# III. DE GETIJTYPEN

## 3.1 Getijtypen

Uit de analyse van het getij blijkt, dat de verhouding der amplituden van de partiële getijden in het algemeen niet overeenkomt met de verhoudingen, die de evenwichtstheorie geeft.

Op sommige plaatsen blijken de dubbeldaagse getijden, waarvan dan $M_2$ en $S_2$ overwegend zijn, veel sterker te zijn dan de enkeldaagse getijden; op andere plaatsen blijken de enkeldaagse getijden, waarvan $K_1$ en $O_1$ overwegend zijn, sterker te zijn dan de dubbeldaagse.

Wanneer $\dfrac{\text{ampl. } K_1 + \text{ampl. } O_1}{\text{ampl. } M_2 + \text{ampl. } S_2} < \frac{1}{4}$ noemt men het getij een dubbeldaags getij. Is deze verhouding $> 1{,}25$, dan noemt men het getij enkeldaags.

Ligt deze verhouding tussen $\frac{1}{4}$ en 1,25, dan spreekt men van een gemengd getij.

In de Atlantische Oceaan en aangrenzende zeeën, behalve de Golf van Mexico, is het getij overwegend dubbeldaags.

Overwegend enkeldaagse getijden komen voor in de Java Zee, de Zuid-Chineesche Zee en de Zee van Ochotsk.

In de Grote Oceaan en in de Indische Oceaan is het getij in het algemeen gemengd.

## 3.2 Dubbeldaagse getijden

Bij een dubbeldaags getij overwegen de partiële getijden $M_2$ en $S_2$.

Om na te gaan, welke bijzonderheden dit getijtype vertoont, worden voorlopig alleen $M_2$ en $S_2$ beschouwd.

Is op het ogenblik, dat het $M_2$ getij hoogwater geeft, de phase van $S_2 = \Theta$, dan is t uur na hoogwater van $M_2$ de phase van dit getij $= 29°.t$, terwijl die van $S_2$ gelijk is aan $\Theta + 30°.t$.

Geeft men de amplituden van beide getijden aan door hun kenletter, dan is de waterstand t.o.v. middenstand

$$y = M_2 \cos 29°.t + S_2 \cos(\Theta + 30°.t).$$

Stelt men $29°.t = \varphi$, dan is

$$y = M_2 \cos \varphi + S_2 \cos\left(\Theta + \frac{30}{29}\varphi\right).$$

Hoogwater van het gecombineerde getij valt als $\dfrac{dy}{d\varphi} = 0$, dus als

$$-M_2 \sin \varphi - \frac{30}{29} S_2 \sin\left(\Theta + \frac{30}{29}\varphi\right) = 0.$$

Om hieruit $\varphi$ te benaderen, stelt men

$$-M_2 \sin \varphi - \frac{30}{29} S_2 \sin(\Theta + \varphi) = 0, \text{ waaruit}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{\frac{30}{29}\frac{S_2}{M_2}\sin\Theta}{1 + \frac{30}{29}\frac{S_2}{M_2}\cos\Theta}.$$

$\varphi$ hangt dus af van $\Theta$ en van de verhouding $\frac{S_2}{M_2}$.

Ligt $\Theta$ tussen 0° en 180°, dan is $\varphi$ negatief en valt het resulterend hoogwater vóór het hoogwater van $M_2$. Ligt $\Theta$ tussen 180° en 360° (of 0° en — 180°), dan valt het resulterend hoogwater na hoogwater van $M_2$.

Voor $\Theta$ en voor 360° — $\Theta$ (of $\Theta$ en — $\Theta$) zijn de waarden van $\varphi$ gelijk, doch tegengesteld in teken.

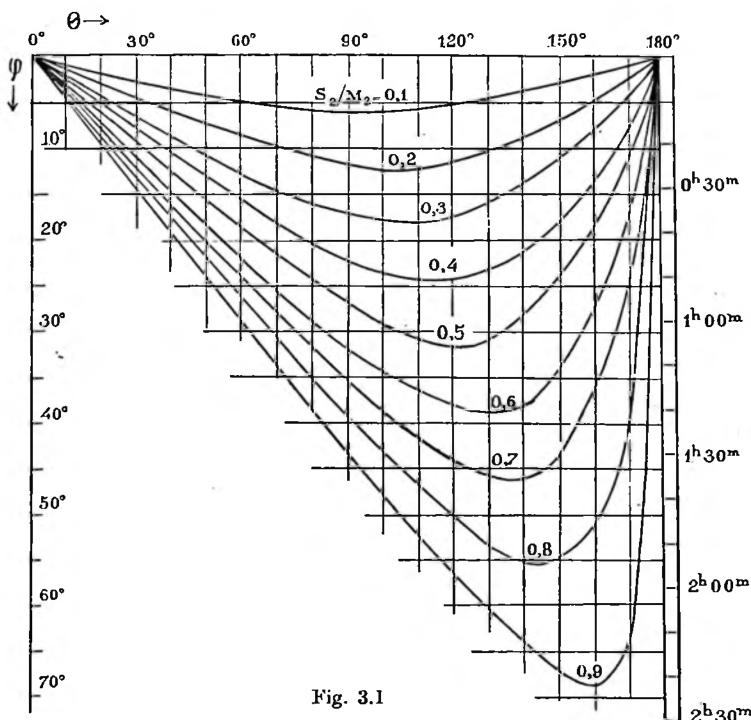


Fig. 3.1

Het diagram van fig. 3.1 geeft voor verschillende waarden van $\frac{S_2}{M_2}$ en van $\Theta$ de waarden van $\varphi$ en de tijdsverlopen tussen hoogwater $M_2$ en resulterend hoogwater.

Voor b.v $\frac{S_2}{M_2} = 0,4$, $\Theta = 60°$ is $\varphi = — 16°$ en valt het resulterend hoogwater $32^m$ vóór hoogwater van $M_2$.

Voor $\frac{S_2}{M_2} = 0{,}4$, $\Theta = 240°$ (— 120°) is $\varphi = +\ 24°$ en valt hoogwater van het resulterend getij $50^m$ na hoogwater $M_2$.

Op de dag, dat bij hoogwater van $M_2$ de phase van $S_2 = 0$, vallen de hoogwaters van beide getijden samen. De uitwijking uit de middenstand bij hoogwater is dan gelijk aan de som der amplituden. Bij het hierop volgend laagwater van $M_2$, dat $6^u\ 12^m$ later valt, is de phase van $S_2$ 6,2 × 30° = 186°, zodat ook dan practisch het $S_2$ getij in de laagste stand staat.

Bij laagwater van het resulterend getij is dan ook de uitwijking uit de middenstand gelijk aan de som der amplituden. Men heeft dan *springtij*.

Springtij, de getijbeweging met de grootste uitwijking uit de middenstand bij hoogwater en bij laagwater, valt in het algemeen als tussen hoogwater en laagwater van $M_2$ de phasen van $M_2$ en $S_2$ gelijk zijn (of zoals men ook wel zegt de phasen van $M_2$ en $S_2$ coïncideren).

Het hoogwater en het laagwater, die het dichtst bij het tijdstip van de coincidentie der phasen liggen, heten resp. hoogwater springtij (HWS) en laagwater springtij (LWS).

Op het moment van HWS of LWS kan dus de phase van $S_2$ tot 6° verschillen met de phase van $M_2$. Het tijdstip van HWS of van LWS zal dan niet meer dan enkele minuten verschillen met HW of LW van $M_2$. Practisch vallen HW van $M_2$ en $S_2$ en ook LW van $M_2$ en $S_2$ samen.

Bij elk volgend hoogwater van $M_2$ neemt de phase van $S_2$ toe met ongeveer 12°,5. Op de dag volgend op de dag van springtij is de phase van $S_2$ bij hoogwater $M_2$ 25°, zodat bij een verhouding van de amplituden 0,4 de tijd van hoogwater volgens het diagram nu ongeveer $14^m$ vóór hoogwater $M_2$ valt.

Dit tijdsverschil neemt toe tot ongeveer $50^m$, ongeveer 5 dagen na springtij, om daarna af te nemen tot 0°, als phase $S_2$ bij hoogwater $M_2$ opgelopen is tot 180°.

Wanneer de phase van $S_2$ bij hoogwater $M_2$ 180° is, valt hoogwater $M_2$ samen met laagwater $S_2$ en practisch laagwater $M_2$ met hoogwater $S_2$.

De getijbeweging geeft dan als uitwijking uit de middenstand bij hoog- en bij laagwater de kleinst voorkomende waarden, nl. het verschil der amplituden van $M_2$ en $S_2$. Het is dan *doodtij*.

Na doodtij is de phase van $S_2$ bij hoogwater $M_2$ groter dan 180° en valt hoogwater van de resulterende beweging na hoogwater $M_2$.

Aan de hand van het diagram vindt men als tijdsverlopen vanaf hoogwater $M_2$ tot werkelijk hoogwater b.v.

| | $\frac{S_2}{M_2} = 0{,}2$ | $\frac{S_2}{M_2} = 0{,}4$ | $\frac{S_2}{M_2} = 0{,}6$ |
|---|---|---|---|
| Springtij | 0 | 0 | 0 |
| 3 dagen na springtij | — 21m | — 40m | — 57m |
| 5 dagen na springtij | — 24m | — 48m | — 80m |
| Doodtij | 0 | 0 | 0 |
| 5 dagen vóór springtij | 24m | 48m | 80m |
| 3 dagen vóór springtij | 21m | 40m | 57m |
| Springtij | 0 | 0 | 0 |

Tafel 12 (zie blz. 210) geeft de dagelijkse verlating van het dubbeldaagse hoogwater. De bedragen uit deze tafel zijn bepaald door van de verlating van de tijd van maansdoorgang na de dag van springtij het tijdsverloop vanaf hoogwater $M_2$ tot werkelijk hoogwater (— of +) af te trekken.

Stelt men de amplitude van $M_2 = 100$, dan kan de amplitude van het resulterend getij worden berekend uit $M_2 \cos \varphi + S_2 \cos\left(\Theta + \frac{30}{29}\varphi\right)$, waarbij $\Theta$ en $\varphi$ uit fig. 3.1 kunnen worden afgelezen.

| | $\frac{S_2}{M_2} = 0{,}2$ | $\frac{S_2}{M_2} = 0{,}4$ | $\frac{S_2}{M_2} = 0{,}6$ |
|---|---|---|---|
| Springtij | 120 | 140 | 160 |
| 3 dagen voor en na springtij | 107 | 117 | 129 |
| 5 dagen voor en na springtij | 90 | 84 | 82 |
| Doodtij | 80 | 60 | 40 |

Wanneer het getij verloopt volgens de evenwichtstheorie, zal het springtij vallen op de dagen van volle en van nieuwe maan. Bij deze theorie valt hoogwater van het maansgetij bij de boven- en bij de benedendoorgang van de maan, dat van het zonsgetij bij de boven- en bij de benedendoorgang van de zon. Op de dagen van volle en van nieuwe maan vallen dan de hoogwaters van maansgetij en zonsgetij samen.

Doodtij valt dan bij de kwartierstanden van de maan.

Bij de werkelijke getijbeweging zal het springtij als regel niet vallen op de dagen van volle en nieuwe maan.

Zijn n.l. op de tijdstippen van volle en nieuwe maan de phasen volgens de evenwichtstheorie van beide getijden $= \Theta$, dan is voor de werkelijke getijbeweging phase $M_2 = \Theta - \varkappa (M_2)$ en phase $S_2 = \Theta - \varkappa (S_2)$.

t uur na het tijdstip, dat de phasen volgens de evenwichtstheorie gelijk zijn, is dan phase $M_2 = \Theta - \varkappa (M_2) + n (M_2)\, t$ en phase $S_2 = \Theta - \varkappa (S_2) + n (S_2)\, t$.

Het tijdsverloop vanaf volle (of nieuwe maan) tot het tijdstip, dat de phasen van $M_2$ en $S_2$ gelijk zijn, heet de *leeftijd van het getij*.

Het hoogwater, dat het dichtst ligt bij het tijdstip, waarop de phasen gelijk zijn, is dan HWS: het laagwater, dat het dichtst ligt bij dit tijdstip, is LWS.

Uit de boven gegeven betrekkingen volgt dan het aantal uren van de leeftijd als $t = \frac{\varkappa (M_2) - \varkappa (S_2)}{n (M_2) - n (S_2)}$ [1]) wat practisch gelijk is aan $[\varkappa (M_2) - \varkappa (S_2)] - 1\frac{1}{2}\,\%$.

De kenmerken van een zuiver dubbeldaags getij zijn dus: Tweemaal per dag hoog-, en tweemaal per dag laagwater, waarbij de hoogwaters en de laagwaters onderling weinig in stand verschillen.

[1]) $t = \frac{g (M_2) - g (S_2)}{n (M_2) - n (S_2)}$ geeft het bedrag in uren, dat bij *M.T.G.* van volle of nieuwe maan moet worden opgeteld om *tijd* van *springtij* te vinden, uitgedrukt in *standaardtijd* voor de beschouwde plaats.

Telkens na 14¾ dag springtij, tussen twee springtijden valt doodtij. Springtij valt steeds een vast tijdsverloop na volle en na nieuwe maan.

De tijd van hoogwater bij springtij valt practisch steeds op hetzelfde uur van de dag, n.l. de tijd van hoogwater van het $S_2$ getij.

Aan de hand van hetgeen boven is behandeld, geeft men voor plaatsen, waar het getij een zuiver dubbeldaags karakter heeft, in de zeemansgidsen soms een getijbeschrijving, waaruit voor een bepaalde dag globaal kan worden afgeleid, welke beweging men kan verwachten.

Deze getijbeschrijving geeft dan: de tijden van springtij en van doodtij, de tijden van hoog- en van laagwater bij springtij en het verval op de dagen van spring- en van doodtij. Onder verval wordt dan verstaan het verschil in stand bij hoog- en bij laagwater.

De ligging van het vlak, waarvoor de diepten in de kaart gelden (het reductievlak van de kaart), ten opzichte van de middenstand wordt gegeven in de laatste kolom van de lijst der getijconstanten achterin de zeemansgids.

Een combinatie, waarvoor b.v. gegeven is

$$M_2 \text{ amplitude } 80 \text{ cm}, \ \varkappa\ 60°,$$
$$S_2 \text{ amplitude } 40 \text{ cm}, \ \varkappa\ 88°,$$

geeft dan aanleiding tot de volgende waarden:

$$\text{leeftijd} = \frac{88° - 60°}{30° - 29°} \times 1^u = 28^u$$

$$\text{verval springtij} = 2 \times (\text{ampl. } M_2 + \text{ampl. } S_2) = 24 \text{ dm}$$

$$\text{verval doodtij} = 2 \times (\text{ampl. } M_2 - \text{ampl. } S_2) = 8 \text{ dm}$$

$$\text{tijd hoogwater } S_2 = \frac{88°}{30°} \times 1^u = 3^u$$

Men komt dan tot de volgende getijbeschrijving:

Getij dubbeldaags.

Springtij: 1 dag na volle en na nieuwe maan;
tijd hoogwater $3^u$ en $15^u$, verval 24 dm.

Doodtij: 1 dag na eerste en na laatste kwartier;
tijd hoogwater $9^u$ en $21^u$, verval 8 dm.

Reductievlak 12 dm onder middenstand. (In de lijst getijconstanten).

Van 4 dagen vóór tot 4 dagen na springtij hoogwater elke dag ongeveer $35^m$ later.

(Dit laatste kan ontleend worden aan het diagram van fig. 3.1).

De dubbeldaagse getijbeweging geeft aanleiding tot een benaderingsmethode om de tijd van hoogwater te vinden, die afgeleid wordt uit de verschillen tussen de tijdstippen van maansdoorgang en hoogwater (zie ook hoofdstuk V).

Beschouwt men het $M_2$ getij als een getij veroorzaakt door een middelbare maan, het $S_2$ getij door een middelbare zon, dan valt hoogwater van het $M_2$ getij

een vast tijdsverloop na de doorgang van de middelbare maan, het $S_2$ getij een vast tijdsverloop na de doorgang van de middelbare zon.

Het tijdstip van hoogwater van het resulterend getij zal afhangen van de onderlinge stand van middelbare maan en middelbare zon en van het verschil van de waarden van g.

Het tijdstip van hoogwater hangt dus af van de doorgangstijd van de middelbare maan en van de leeftijd van het getij.

In de practijk neemt men nu aan, dat het tijdstip van hoogwater afhangt van de doorgangstijd van de ware maan.

Het tijdsverloop van maansdoorgangstijd tot eerstvolgend hoogwater heet het *maansverloop.*

Men bepaalt nu van dag tot dag de maansverlopen.

De maansverlopen, behorende bij maansdoorgangen tussen b.v. $4^u30^m$ en $5^u30^m$, worden gemiddeld en het gevonden bedrag beschouwd als het maansverloop behorende bij doorgangstijd $5^u$.

Men komt dan tot een grafiek, die het verband geeft tussen maansdoorgangstijd en maansverloop, als gegeven in fig. 3.2.

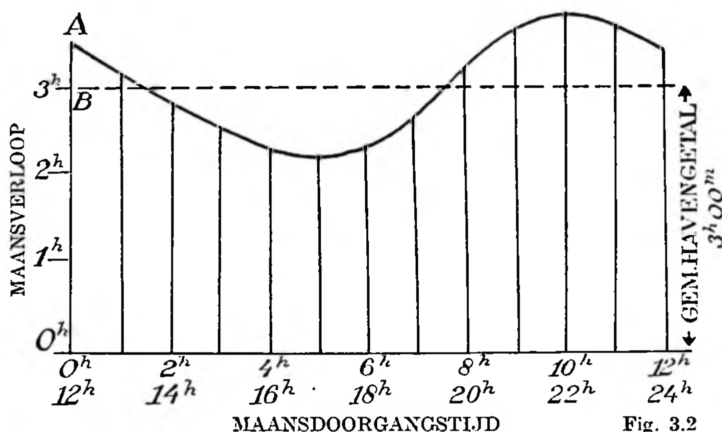


Fig. 3.2

Voor elke plaats kan een dergelijke grafiek worden samengesteld.

Door het middelen van de verschillende maansverlopen, behorende bij een bepaalde maansdoorgangstijd, kan men aannemen, dat de gevonden waarden gelden voor maansdeclinatie 0° en gemiddelde afstand van de maan. Een meer uitvoerige analyse zou kunnen leiden tot correcties voor declinatie en afstand van de maan en voor declinatie van de zon. Hoewel dergelijke analysen zijn uitgevoerd, zal hier daarop niet worden ingegaan.

Het gemiddelde van de maansverlopen voor maansdoorgang $0^u$ en $12^u$ wordt aangegeven als *havengetal* (High Water at Full and Change, H. W. F. & C.).

Het gemiddelde van alle maansverlopen wordt aangegeven als *gemiddeld havengetal* (Mean lunitidal interval).

Dit gemiddelde havengetal is dan het tijdsverloop vanaf de maansdoorgang tot het eerstvolgend hoogwater van het maansgetij.

Daar de phase van het maansgetij 29° per uur verandert, is dit tijdsverloop $= \frac{\varkappa}{29^\circ} \times 1^u$.

Hierbij is ondersteld, dat men de maansdoorgangstijd gecorrigeerd heeft voor de lengte van de plaats en alle tijden uitdrukt in M.T. voor de plaats.

Drukt men de tijden uit in een bepaalde standaardtijd en neemt men de tijd van maansmeridiaansdoorgang voor de meridiaan van Greenwich = T, dan is het bedrag, dat men op T moet toepassen om de tijd van hoogwater in standaardtijd te vinden $\frac{g}{29^\circ} \times 1^u$.

Men komt zo tot de benadering:

Tijd hoogwater = tijd maansdoorgang + gemiddeld havengetal + een correctie afhankelijk van de maansdoorgangstijd.

De bedoelde correctie is dan het verschil tussen het maansverloop voor de beschouwde doorgangstijd en het gemiddelde havengetal.

De Zeemansgids voor de Nederlandse kust geeft voor plaatsen op de Nederlandse kust deze correctie als „verbetering voor zonsinvloed", waarbij gemiddelde waarden zijn genomen voor de Nederlandse kust.

Tevens geeft de Zeemansgids de gemiddelde havengetallen, zodat men de tijd van hoogwater voor plaatsen op de Nederlandse kust kan benaderen met deze gegevens.

Deze benaderingsmethode is alleen juist, als men uitsluitend te maken had met het $M_2$ getij en het $S_2$ getij.

Afgezien van enkeldaagse getijden, zullen het $N_2$ en het $K_2$ getij invloed hebben op het geschetste getijverloop.

$N_2$ beïnvloedt het $M_2$ getij; telkens na een anomalistische omloopstijd van de maan (27½ dag) zal de combinatie $M_2$ $N_2$ een springtij en een doodtij vertonen. De evenwichtstheorie geeft als gemiddelde verhouding der amplituden van deze getijden 0,194.

Het maansgetij variëert daardoor dus in amplitude van 1,19 $M_2$ tot 0,81 $M_2$.

$K_2$ beïnvloedt $S_2$; telkens na een half jaar zal de combinatie $S_2$ $K_2$ een springtij en een doodtij geven. Met een gemiddelde verhouding van de amplituden 0,27 kan de amplitude van het zonsgetij variëren van 1,27 $S_2$ tot 0,73 $S_2$.

Een verhouding $S_2 : M_2 = 0{,}4$ kan dus verlopen van $\frac{1{,}27\ S_2}{0{,}81\ M_2} = 0{,}63$ tot $\frac{0{,}73\ S_2}{1{,}19\ M_2} = 0{,}25$.

Bij een verhouding 0,63 is het maximumverschil tussen de tijd van hoogwater $M_2$ en het resulterend hoogwater $1^u25^m$, bij een verhouding 0,25 is dit $30^m$ (zie fig. 3.1).

Het werken met gemiddelde maansverlopen kan voor een bepaalde plaats dus verschillen van ruim $30^m$ in de tijd van hoogwater geven. De verschillen kunnen

nog vergroot worden, doordat gebruik wordt gemaakt van gemiddelde waarden van de correcties op het havengetal.

### 3.3 Invloed van ondiepwatergetijden op dubbeldaagse getijden

De dubbeldaagse getijden geven een getij, waarvan het getijverloop, voor een bepaalde dag in diagram gebracht, practisch een sinusoïde is.

Dit is niet meer het geval als ook ondiepwatergetijden voorkomen.

Van deze ondiepwatergetijden zal hier alleen de invloed van de getijden $M_4$, $MS_4$ en 2MS ($\mu_2$) worden beschouwd. [1])

Tussen de astronomische argumenten en de hoeksnelheden van deze getijden en die van $M_2$ en $S_2$ bestaan de volgende betrekkingen.

Astr. arg. $M_4 = 2 \times$ astr. arg. $M_2$.

„ „ $MS_4 =$ astr. arg. $M_2 +$ astr. arg. $S_2$.

„ „ $2MS = 2 \times$ astr. arg. $M_2 -$ astr. arg. $S_2$.

Hoeksnelheid $M_4 = 2 \times$ hoeksnelheid $M_2$.

„ $MS_4 =$ hoeksnelheid $M_2 +$ hoeksnelheid $S_2$.

„ $2MS = 2 \times$ hoeksnelheid $M_2 -$ hoeksnelheid $S_2$.

Voor elk getij geldt $V_0 + u + nt - g =$ phase.

In verband hiermede is dan

Phase $M_4 + g\ (M_4) = 2 \times$ (phase $M_2 + g\ (M_2)$), of

Phase $M_4 = 2 \times$ phase $M_2 + 2\ g\ (M_2) - g\ (M_4)$.

Bij hoogwater en ook bij laagwater van $M_2$ is dan

Phase $M_4 = 2\ g\ (M_2) - g\ (M_4)$.

Is dus $2g(M_2) - g(M_4)$ nul of nagenoeg nul, dan valt HW $M_4$ steeds samen met HW $M_2$ en met LW $M_2$.

Hoe het getijverloop door $M_2$ en $M_4$ in dit geval zal zijn, hangt af van de verhouding der amplituden van de getijden.

Is amplitude $M_4 = 0{,}2 \times$ amplitude $M_2$, dan is het verloop als fig. 3.3 aangeeft.

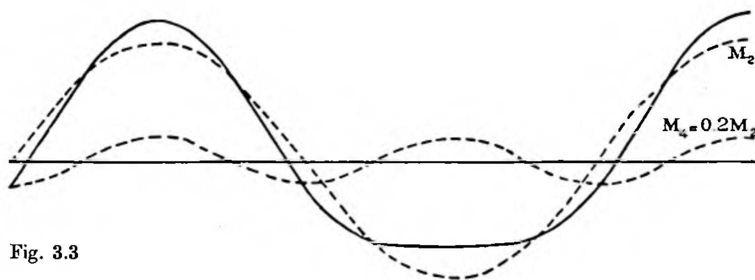



Fig. 3.3

[1]) Hoewel het gebruikelijk is het 2MS getij zonder index te schrijven, zou het juister zijn $2MS_2$ te zetten, om aan te geven dat dit getij dubbeldaags is.

Men heeft dan snelle rijzing vóór en snelle daling na HW. Het water blijft na de daling practisch lange tijd op dezelfde hoogte.

Men heeft dan een z.g. lang laagwater.

Stelt men amplitude van $M_2$ 100, dan is de stand bij HW + 120, bij LW — 80.

Het gemiddelde van hoogwater en laagwater, het z.g. *halftijvlak*, valt dus niet samen met de *middenstand* (het gemiddelde der uurwaarnemingen).

Is amplitude $M_4 = 0{,}5 \times$ amplitude $M_2$, dan verkrijgt men het verloop van fig. 3.4.

Bij laagwater van het $M_2$ getij vertoont de beweging een kleine rijzing. Men verkrijgt dan het verschijnsel van een dubbel laagwater.

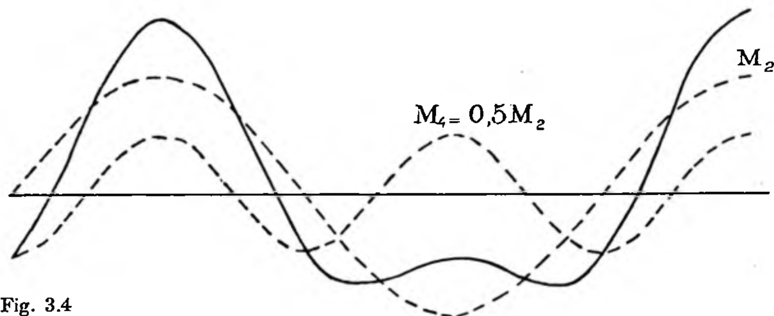



Fig. 3.4

Is $2g\,(M_2) - g(M_4) = 90°$, dan zal bij HW en bij LW van het $M_2$ getij het $M_4$ getij zich in de middenstand bevinden met dalend water.

Is amplitude $M_4 = 0{,}4 \times$ amplitude $M_2$, dan is het getijverloop dat van fig. 3.5. Men heeft dan snellere rijzing en langzamere daling dan normaal.

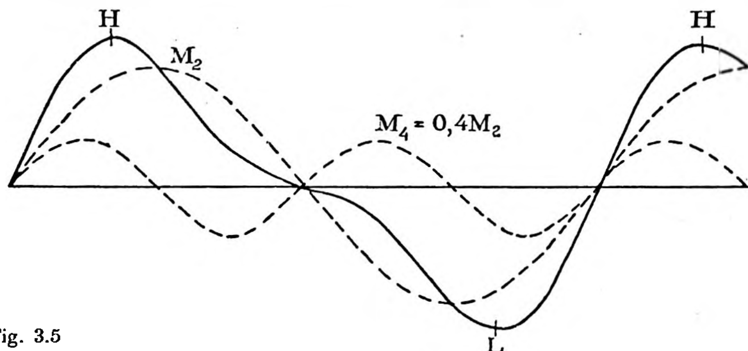



Fig. 3.5

Het nevengetij $M_4$ stoort dus het normale verloop van $M_2$.

Voor de phase van $MS_4$ geldt:

$$\text{phase } MS_4 + g(MS_4) = \text{phase } M_2 + g(M_2) + \text{phase } S_2 + g(S_2).$$

In verband met phase $M_4 + g(M_4) = 2 \times$ phase $M_2 + 2\, g(M_2)$ heeft men dan phase $M_4$ — phase $MS_4$ = phase $M_2$ — phase $S_2 + g(M_2) - g(S_2) + g(MS_4) - g(M_4)$.

Voor Vlissingen, Hoek van Holland, IJmuiden en Delfzijl zijn de waarden van $g(M_2) - g(S_2) + g(MS_4) - g(M_4)$ resp. 8°, —1°,—13° en 1°.

Practisch is dus op de Nederlandse kust

$$\text{phase } M_4 - \text{phase } MS_4 = \text{phase } M_2 - \text{phase } S_2.$$

Bij springtij is phase $M_2$ = phase $S_2$ en dus ook phase $M_4$ = phase $MS_4$, terwijl bij doodtij phase $M_4$ en phase $MS_4$ 180° verschillen.

Bij springtij zullen de ondiepwatergetijden $M_4$ en $MS_4$ elkander versterken. De getijbeweging door $M_2$ en $S_2$ wordt dan gestoord door een sterk viermaaldaags getij. Te Hoek van Holland ontstaat dan een beweging als die van fig. 3.4.

Na hoogwater daalt het water sneller dan bij een normale beweging door $M_2$ en $S_2$. Na het bereiken van een laagste stand stijgt het water enigszins om daarna weer te dalen. Men heeft dan een *dubbel laagwater*. Na het tweede laagwater stijgt het water sneller dan normaal.

De kleine stijging van de zeespiegel bij laagwater staat bekend onder de naam van „*agger*".

Bij doodtij is de beweging door $M_4$ en $MS_4$ het zwakst. Het getij vertoont dan het verloop van fig. 3.3. Men heeft dan een lang laagwater.

Te IJmuiden ontstaat door de ondiepwatergetijden $M_4$ en $MS_4$ een verloop als dat van fig. 3.5. Bij springtij komen de afwijkingen van een normale sinusoïde sterker tot uiting dan bij doodtij.

Te Vlissingen zijn de amplituden van $M_4$ en $MS_4$ klein t.o.v. die van $M_2$ en $S_2$ en komt de invloed van de ondiepwatergetijden weinig naar voren.

Voor 2MS geldt:

$$\text{phase } 2MS + g(2MS) = 2 \times [\text{phase } M_2 + g(M_2)] - [\text{phase } S_2 + g(S_2)].$$

Hieruit volgt

$$\text{phase } 2MS - \text{phase } M_2 = \text{phase } M_2 - \text{phase } S_2 + 2\, g(M_2) - g(S_2) - g(2MS).$$

Voor de Nederlandse kust is $2g(M_2) - g(S_2) - g(2MS)$ ongeveer 180°.

Zijn de phasen van $M_2$ en $S_2$ gelijk (springtij), dan is phase 2MS — phase $M_2$ ongeveer 180°.

Bij doodtij is echter phase 2MS — phase $M_2$ ongeveer 0°.

Het samengestelde getij 2MS verzwakt dus bij springtij de amplitude van het dubbeldaags getij. Bij doodtij zal dit samengestelde getij de amplitude vergroten.

Een volledige analyse van de werkelijke getijbeweging geeft soms aanleiding tot een groot aantal ondiepwatergetijden, die het moeilijk maken de getijbeweging nauwkeurig te bepalen uit de partiële getijden.

### 3.4 Enkeldaagse getijden

Bij een enkeldaags getij overwegen het $K_1$ getij en het $O_1$ getij, waarbij het $P_1$ getij het $K_1$ getij sterk beïnvloedt.

Bepaalt men zich tot het $K_1$ getij en het $O_1$ getij, dan kan men een analoge beschouwing toepassen als gegeven is voor de combinatie $M_2/S_2$.

Is de phase van $O_1$ bij het hoogwater van $K_1 = \Theta$, dan is $t^u$ na hoogwater van $K_1$ de phase van $K_1 = 15°.t$, die van $O_1$ $\Theta + 14°.t$.

Geeft men de amplituden aan door $K_1$ en $O_1$, dan is de waterstand t.o.v. middenstand

$$y = K_1 \cos 15°.t + O_1 \cos (\Theta + 14°.t).$$

Stelt men $15°.t = \varphi$, dan is

$$y = K_1 \cos \varphi + O_1 \cos\left(\Theta + \frac{14}{15}\varphi\right).$$

Hoogwater door de samenwerking van beide getijden valt als $\frac{dy}{d\varphi} = 0$, dus

$$-K_1 \sin \varphi - \frac{14}{15} O_1 \sin\left(\Theta + \frac{14}{15}\varphi\right) = 0.$$

Om hieruit $\varphi$ te benaderen, stelt men

$$-K_1 \sin \varphi - \frac{14}{15} O_1 \sin (\Theta + \varphi) = 0, \text{ waaruit}$$

$$\text{tg}\varphi = -\frac{\frac{14}{15}\frac{O_1}{K_1}\sin\Theta}{1 + \frac{14}{15}\frac{O_1}{K_1}\cos\Theta}.$$

Men kan dus een grafiek construeren, die het verband tussen $\Theta$ en $\varphi$ geeft (fig 3.6).

Bij de combinatie $K_1/O_1$ is bij elk volgend hoogwater van $K_1$ de phase van $O_1$ met $24 \times 13°94 = 334°$ toegenomen.

In verband hiermede is de telling van $\Theta$ in fig. 3.6 anders genomen dan in fig. 3.1.

Op de dag, dat bij hoogwater $K_1$ de phase van $O_1 = 0$, vallen de hoogwaters van beide getijden samen. De uitwijking uit de middenstand is dan de som der amplituden. Bij het hierop volgend laagwater van $K_1$ is de phase van $O_1$ 167° en is de uitwijking uit de middenstand $- K_1 + O_1 \cos 167° = - K_1 - 0{,}97\, O_1$.

Ook bij laagwater $K_1$ is dus practisch de uitwijking uit de middenstand $K_1 + O_1$.

Men heeft dan *enkeldaags springtij.*

In het algemeen is het springtij, als tussen hoogwater $K_1$ en laagwater $K_1$ de phasen van $K_1$ en $O_1$ coïncideren.

Het hoogwater, dat het dichtst valt bij het tijdstip van coïncidentie, is dan hoogwater springtij; het dichtst daarbij vallend laagwater is laagwaterspringtij.

Op het moment van HWS en LWS kunnen de phasen van $K_1$ en $O_1$ tot 13° uiteenlopen.

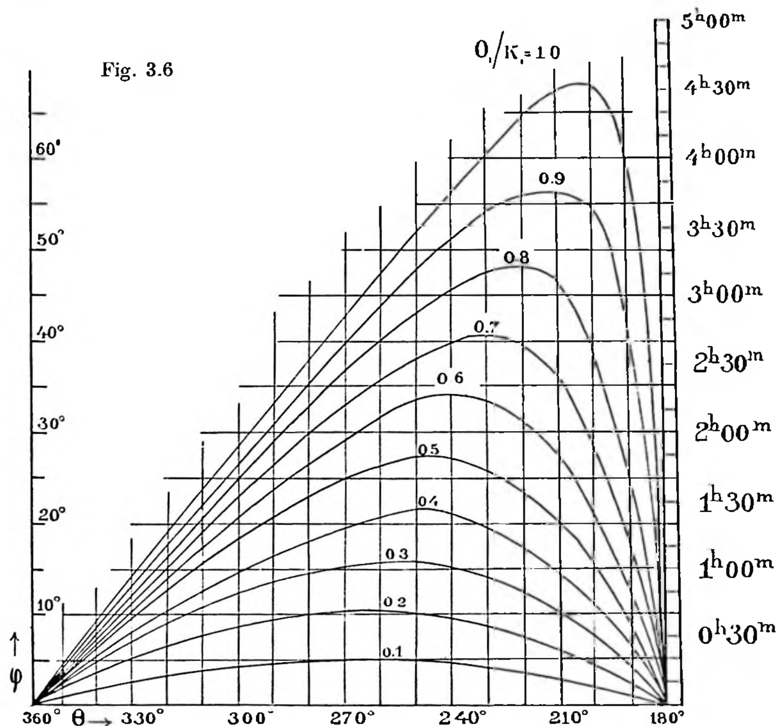
Bij elk volgend hoogwater van $K_1$ is de phase van $O_1$ met 334° toegenomen (of 26° afgenomen).

Uit fig. 3.6 kan men afleiden wanneer resulterend hoogwater valt. Zolang $\Theta$ tussen 180° en 360° ligt is $\varphi$ positief en valt resulterend hoogwater na hoogwater $K_1$.

Bij een verhouding $\frac{\text{ampl. } O_1}{\text{ampl. } K_1} = 0{,}4$ zal één dag na springtij gemiddeld $\varphi = 7°$ zijn en dus de tijd van hoogwater $28^m$ na hoogwater $K_1$ vallen.

Twee dagen na springtij (phase $O_1$ bij hoogwater $K_1 = 308°$) is $\varphi = 13°$, hoogwater $54^m$ na hoogwater $K_1$.

Men vindt zo: 3, 4, 5, 6 dagen na springtij, hoogwater $1^u12^m$, $1^u26^m$, $1^u20^m$, $0^u52^m$ na hoogwater $K_1$.




Ongeveer 7 dagen na springtij is de phase van $O_1$ bij hoogwater $K_1$ 180°. Men heeft dan doodtij. Hoogwater doodtij valt weer practisch samen met hoogwater $K_1$.

Ongeveer 7 dagen na doodtij is weer springtij. Tussen doodtij en springtij valt resulterend hoogwater vóór HW $K_1$. Men vindt weer 3, 4, 5, 6 dagen vóór springtij met de aangenomen verhouding 0,4 de tijd van hoogwater resp. $1^u12^m$, $1^u26^m$, $1^u20^m$, $0^u52^m$ vóór hoogwater $K_1$.

De tijd van hoogwater slingert dus om de tijd van hoogwater $K_1$, waarbij grotere schommelingen voorkomen dan bij de combinatie $M_2/S_2$ bij een zelfde verhouding der amplituden.

Dit heeft aanleiding gegeven tot een benaderingsmethode voor de tijd van hoogwater van het enkeldaags getij. Men stelt deze nl. op tijd hoogwater $K_1$.

Feitelijk is dit alleen het geval bij springtij en bij doodtij. Als de verhouding van de amplitude van $O_1$ tot die van $K_1$ groter is dan 0,5, geeft deze werkwijze een zeer ruwe benadering.

Het getij verloopt bij een enkeldaags getij omstreeks hoog- en laagwater zeer langzaam. In het uur vóór en na hoogwater verandert de waterstand niet meer dan 3,5 % van de amplitude, zodat in het algemeen een ruwe benadering van de tijd van hoogwater voldoende is.

Het astronomisch argument van $K_1$ voor 1 Januari varieert van 2° tot 19°. De tijd van hoogwater van $K_1$ op 1 Januari vertoont dus een schommeling van $\pm$ $36^m$ om een gemiddelde tijd. In verband met de getijperiode van $23^u56^m$ valt de tijd van hoogwater elke dag $4^m$ vroeger, elke maand $2^u$ vroeger.

Springtij valt volgens de evenwichtstheorie practisch als de maansdeclinatie een maximum waarde heeft (hetzij Noord of Zuid), dus telkens na een halve siderische omloopstijd van de maan ($13\frac{2}{3}$ dag).

Dit volgt ook uit de hoeksnelheden van $K_1$ en $O_1$, die respectievelijk 15°,041 en 13°,943 zijn.

Tussen twee springtijden moet het phaseverschil, dat per uur met 1°,098 is aangegroeid, toegenomen zijn tot 360°.

Men vindt dus voor het tijdsverloop $\frac{360°}{1°,098} \times 1^u = 328^u = 13^d\ 16^u$.

In het algemeen valt springtij niet juist op het tijdstip van maximum declinatie.

Het tijdsverloop vanaf het tijdstip van maximum declinatie tot het eerstvolgend moment van coïncidentie der phasen (dus gemiddeld tot springtij) heet de *leeftijd van het enkeldaags getij*.

Evenals bij de combinatie $M_2/S_2$ volgt de leeftijd uit:

leeftijd in uren $= \frac{\varkappa(K_1) - \varkappa(O_1)}{n(K_1) - n(O_1)}$ of practisch $[\varkappa(K_1) - \varkappa(O_1)] - 10\ \%$.

De waarde $\frac{g(K_1) - g(O_1)}{n(K_1) - n(O_1)}$ geeft het aantal uren, dat, opgeteld bij M.T.G. van maximum maansdeclinatie, het tijdstip van coïncidentie der phasen geeft *in standaardtijd*.

Aan de hand hiervan komt men tot een getijbeschrijving van het enkeldaags getij.

Is b.v. voor $K_1$ ampl. 80 cm, $g = 108°$,
voor $O_1$ ampl. 40 cm, $g = 74°$,

dan heeft men

$$\frac{g(K_1) - g(O_1)}{n(K_1) - n(O_1)} = \frac{108° - 74°}{1°.1} = \frac{34°}{1°.1} = 31.$$

Tijdstip springtij (in standaardtijd) wordt dus verkregen door $31^u$ te tellen bij M.T.G. van max. maansdeclinatie.

Tijd van hoogwater $K_1$ op 1 Januari (met gemiddelde waarde van $V_0 + u$ als 10°) valt te $6^u$,5.

De getijbeschrijving geeft nu:

Getij enkeldaags.

Springtij $1\frac{1}{2}$ dag na max. maansdeclinatie,
verval 24 dm.

Doodtij $1\frac{1}{2}$ dag na maansdeclinatie = 0°,
verval 8 dm.

Tijd hoogwater 1 Januari $6^u$,5, 1 April $0^u$,5, 1 Juli $18^u$,5, 1 Oct. $12^u$,5.

Reductievlak 12 dm onder middenstand (in lijst getijconstanten).

4 dagen na springtij hoogwater $1^u50^m$ na hoogwater $K_1$,

4 dagen vóór springtij hoogwater $1^u50^m$ vóór hoogwater $K_1$.

Nadert de verhouding van de amplituden $\frac{O_1}{K_1}$ tot 1, dan zal tot 5 à 6 dagen na springtij en van 5 à 6 dagen vóór springtij tot dit springtij volgens fig. 3.6 de tijd van hoogwater practisch elke dag $50^m$ later vallen.

In dit geval blijkt er enig verband te bestaan tussen de tijden van de meridiaansdoorgang van de maan en hoogwater. Van 2 dagen vóór doodtij tot 2 dagen na doodtij verspringt de tijd van hoogwater van $4^u$ na hoogwater $K_1$ tot $4^u$ vóór hoogwater $K_1$.

Na springtij kan men dus b.v. verband leggen tussen tijd van hoogwater en de tijd van bovendoorgang van de maan; vóór het volgend springtij, waarbij de declinatie het tegengestelde teken heeft, bestaat dan verband tussen de tijd van hoogwater en de tijd van benedendoorgang van de maan.

In het algemeen kan men geen verband leggen tussen de doorgangstijd van de maan en de tijd van hoogwater van een enkeldaags getij.

Het werken met een havengetal, zoals bij dubbeldaagse getijden, komt niet voor bij enkeldaagse getijden.

Het verloop van het $K_1$ getij wordt sterk beïnvloed door het $P_1$ getij, waarvan de amplitude gemiddeld ongeveer $\frac{1}{3}$ is van die van het $K_1$ getij.

De tijdsverlopen vanaf hoogwater $K_1$ tot het enkeldaags hoogwater variëren met het phaseverschil van $K_1$ en $P_1$.

### 3.5 Bepaling van de tijdstippen van coïncidentie der phasen van twee getijden

Het kan van belang zijn voor een bepaalde maand te weten, wanneer de phasen van $M_2$ en $S_2$ of van $K_1$ en $O_1$ gelijk zijn.

Ruwweg kan men dit vinden uit de leeftijd, resp. van dubbeldaags en enkeldaags getij en de gegevens van de zeevaartkundige almanakken.

Een scherpere bepaling is mogelijk met behulp van de Zeevaartkundige Tafels (tafels XXVIII en XXX).

Deze tafels geven 360° — $(V_0 + u)$ voor de voornaamste partiële getijden.

360° — $(V_0 + u) + g$ geeft dus 360° — de phase te $0^u$ standaardtijd.

Een getallenvoorbeeld geeft voldoende toelichting.

Gevraagd wordt de tijdstippen, waarop de phasen van $M_2$ en $S_2$ gelijk zijn in Augustus 1947, als gegeven zijn: voor $M_2$ $g = 71°$, voor $S_2$ $g = 82°$.

Tafels XXVIII en XXX geven

| | $M_2$ | $S_2$ |
|---|---|---|
| 1 Jan. 1947 $360° - (V_0 + u)$ . . . . . . | 208° | 0° |
| Correctie voor 1 Aug. . . . . . . . . . . | 129° | 0° |
| g . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 71° | 82° |
| | 408° | 82° |

phase te $0^u$ 1 Aug. $V_0 + u - g$ voor $M_2$ $360° - 48° = 312°$,
$S_2$ $360° - 82° = 278°$.

$t^u$ na $0^u$ 1 Aug. phase $M_2$ $312° + 28°{,}984\ t$,
phase $S_2$ $278° + 30°\ t$.

De phasen zijn gelijk als

$$312° + 28°{,}984\ t = 278° + 30°\ t,$$

waaruit

$$t = \frac{312° - 278°}{1°{,}016} = 33{,}5.$$

De eerste coïncidentie valt $33^u{,}5$ na $0^u$ 1 Aug, d.i. 2 Aug. $9^u{,}5$ standaardtijd. De volgende valt $14\frac{3}{4}$ dag later, d.i. 17 Augustus $3^u{,}5$.

Gevraagd de tijdstippen, waarop de phasen van $K_1$ en $O_1$ gelijk zijn in de maand Mei 1947, als gegeven is $g\ (K_1) = 105°$ en $g\ (O_1) = 93°$.

| | $K_1$ | $O_1$ |
|---|---|---|
| 1 Jan. 1947 $360° - (V_0 + u)$ . . . . . | 357° | 208° |
| correctie 1 Mei . . . . . . . . . . . . | 242° | 164° |
| g . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 105° | 93° |
| | 704° | 465° |
| | 344° | 105° |
| $0^u$ 1 Mei $V_0 + u - g$ . . . . . . . . . . . . . . | 16° | 255° |

$t^u$ na $0^u$ 1 Mei is phase $K_1$ $16° + 15°.041\ t$,
phase $O_1$ $255° + 13°{,}943\ t$.

De phasen zijn gelijk als

$$16° + 15°{,}041\ t = 255° + 13°{,}943\ t.$$

$$t = \frac{255° - 16°}{1°{,}098} = 218.$$

De eerste coïncidentie valt $218^u$ na $0^u$ 1 Mei, d.i. 10 Mei $2^u$, de volgende valt $13\frac{5}{8}$ dag later, d.i. 23 Mei $18^u$ (standaardtijd).

### 3.6 Gemengd getij

Wanneer de amplituden van de partiële getijden een zodanige verhouding hebben, dat geen der beide hoofdgroepen (dubbeldaags en enkeldaags) overwegend sterker is dan de andere, ontstaat een gemengd getij.

Tot welk getijverloop een gemengd getij aanleiding kan geven, blijkt uit de fig. 3.7 t/m 3.10.

In de figuren 3.7 en 3.8 is aangenomen, dat het hoogwater van het enkeldaags getij $3^u$ valt na dat van het dubbeldaags getij. In fig. 3.7 is aangenomen, dat de amplituden van beide getijsoorten dezelfde is, terwijl in fig. 3.8 is aangenomen, dat de amplituden (e.d. tot d.d.) zich verhouden als 1 : 2.

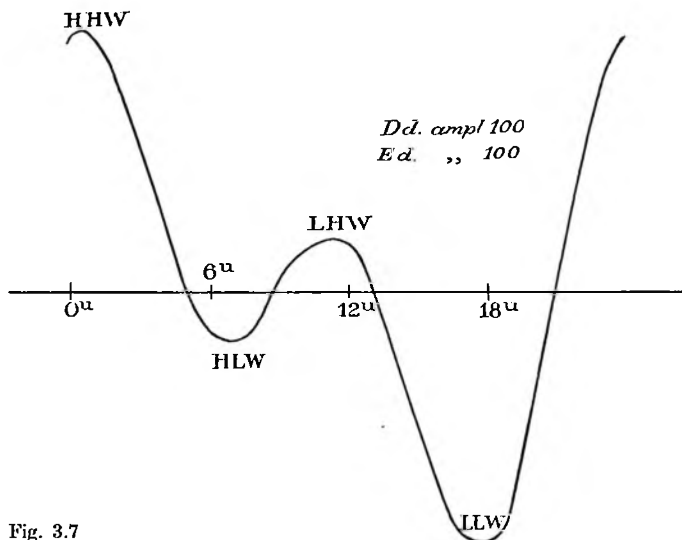



Fig. 3.7

In de figuren 3.9 en 3.10 is aangenomen, dat de tijd van hoogwater van het enkeldaags getij $6^u$ valt na die van het dubbeldaags getij. (Fig. 3.9 gelijke amplituden, fig. 3.10 ampl. e.d.: ampl. d.d. = 4 : 1.)

Typische kenmerken van een gemengd getij zijn in het algemeen de ongelijke hoogten van de hoogwaters en van de laagwaters. Tevens zijn de tijdsverlopen tussen laagwater en hoogwater (duur der stijging) en tussen hoogwater en laagwater (duur der daling) ongelijk.

Men heeft dus in het algemeen een hoog-hoogwater (H.H.W.) en een laag-hoogwater (L.H.W.), een laag-laagwater (L.L.W.) en een hoog-laagwater (H.L.W).

Naarmate de amplitude van het enkeldaagse getij t.o.v. die van het dubbeldaagse getij groter wordt, zullen de standen van L.H.W. en H.L.W. tot elkander naderen, zodat als het enkeldaags getij zeer sterk is één H.W. en één L.W. blijft.

Algemene conclusies betreffende tijd van hoogwater, eventuele hoogste hoogwaterstanden of laagste laagwaterstanden, kan men niet direct maken.

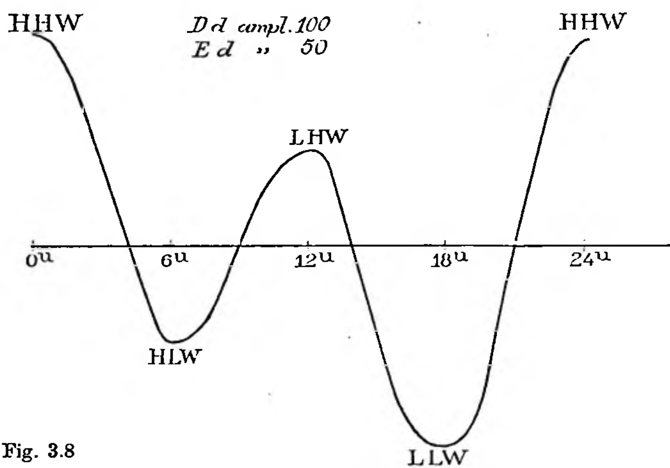

HHW
Dd ampl. 100
Ed " 50
HHW
LHW
0u
6u
12u
18u
24u
HLW
LLW

Fig. 3.8

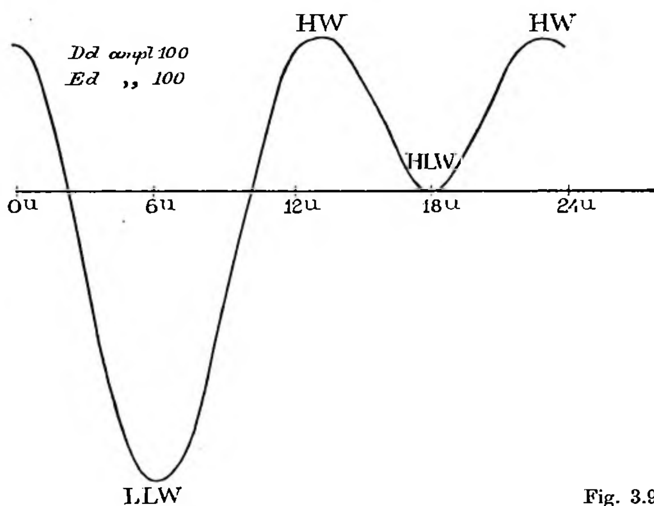

HW
HW
Dd ampl 100
Ed " 100
HLW
0u
6u
12u
18u
24u
LLW

Fig. 3.9

Een getijbeschrijving voor een gemengd getij wordt gesplitst in die voor het dubbeldaagse getij en die voor het enkeldaagse getij.

Uit deze twee getijbeschrijvingen kan men het verloop van beide getijsoorten schetsen en daaruit het verloop van het resulterende getij afleiden.

Voor het vaststellen van een reductievlak is het gewenst te weten, tot hoever het water kan dalen bij een gemengd getij, terwijl ook kennis van de hoogste standen van nut kan zijn.

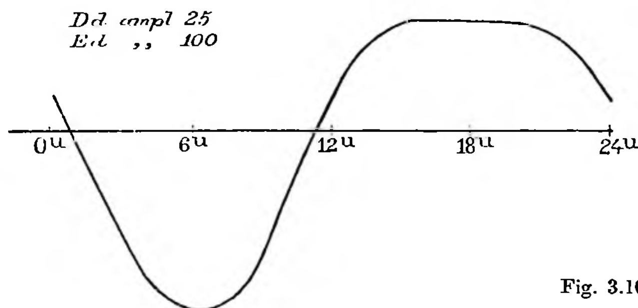



Fig. 3.10

Hiertoe bepaalt men zich tot de voornaamste getijden, $M_2$, $S_2$, $K_1$ en $O_1$, waarbij eventueel $K_2$ in rekening kan worden gebracht.

Tussen de phasen van $M_2$, $K_1$ en $O_1$ bestaat een bepaalde betrekking.

Men heeft n.l. (zie blz. 31.)

$$\begin{aligned} \text{phase } M_2 &= 2T + 2(h - s) + 2(\xi - \nu) - \varkappa\,(M_2), \\ \text{phase } K_1 &= T + h - 90^\circ - \nu' \qquad - \varkappa\,(K_1), \\ \text{phase } O_1 &= T + h - 2s + 90^\circ + 2\xi - \nu - \varkappa\,(O_1). \end{aligned}$$

Hieruit volgt

$$\text{phase } M_2 = \text{phase } K_1 + \text{phase } O_1 + (\nu' - \nu) + \varkappa\,(K_1) + \varkappa\,(O_1) - \varkappa\,(M_2).$$

$\nu - \nu'$ is hoogstens 5°, zodat practisch

$$\text{phase } M_2 = \text{phase } K_1 + \text{phase } O_1 + \varkappa\,(K_1) + \varkappa\,(O_1) - \varkappa\,(M_2).$$

In plaats van de waarden van $\varkappa$ worden als regel de gewijzigde kappagetallen g gegeven.

Daar $g = \varkappa + pL - Sn$ en voor $M_2$, $K_1$ en $O_1$ $pL - Sn$ resp. zijn $2L - S \times 29°$, $L - S \times 15°$ en $L - S \times 14°$ is ook

$$\text{phase } M_2 = \text{phase } K_1 + \text{phase } O_1 + g\,(K_1) + g(O_1) - g(M_2).$$

Zijn dus de phasen van $K_1$ en $O_1$ beide 0° of beide 180° (springtij van het enkeldaags getij), dan is phase $M_2 = g(K_1) + g(O_1) - g(M_2)$. Bij HWS of LWS kunnen de phasen van $K_1$ en $O_1$ tot 13° verschillen (zie blz. 70).

Afgezien van dit verschil van 13° heeft men dus: bij enkeldaags springtij is zowel bij HW als bij LW phase $M_2 = g(K_1) + g(O_1) - g(M_2)$.

Is $g(K_1) + g(O_1) - g(M_2) = 0°$, dan valt bij enkeldaags springtij het moment van hoogwater $M_2$ samen met HW en LW van het enkeldaagse getij.

Is $g(K_1) + g(O_1) - g(M_2)$ niet nul, dan geschiedt dit nooit. Een stand, die gelijk is aan de som van de amplituden van $K_1$, $O_1$ en $M_2$ boven de middenstand, kan dus alleen voorkomen als $g(K_1) + g(O_1) - g(M_2) = 0°$.

Is $g(K_1) + g(O_1) - g(M_2) = 180°$, dan valt bij enkeldaags springtij LW $M_2$ zowel bij HW als bij LW van het enkeldaagse getij.

In dit geval is bij laagwaterspring van het enkeldaagse getij de daling van het water onder de middenstand gelijk aan de som van de amplituden der drie getijden.

Hoogwater $K_1$ valt telkens na $23^u56^m$, d.i. na een sterredag. Dit hoogwater valt dus op een vast uur sterretijd.

Is dus $g(K_1) + g(O_1) - g(M_2) = 0°$, dan volgt de samenvalling der hoogwaters van de drie getijden telkens na $13\frac{2}{3}$ dag op een zelfde uur sterretijd.

Is $g(K_1) + g(O_1) - g(M_2) = 180°$, dan heeft men het samenvallen van de laagwaters van de drie getijden telkens na $13\frac{2}{3}$ dag op een zelfde uur sterretijd.

Is $g(K_1) + g(O_1) - g(M_2)$ niet $0°$ of $180°$, dan valt nooit hoog- of laagwater $M_2$ samen met hoog- of laagwaterspring van het enkeldaagse getij.

In de loop van $13\frac{2}{3}$ dag geeft de combinatie $M_2$, $K_1$ en $O_1$ telkens dezelfde standen als in een vorige periode van $13\frac{2}{3}$ dag.

Een hoogste of een laagste stand door deze combinatie komt telkens terug na $13\frac{2}{3}$ dag op een tijdstip, dat met dat van hoogwater of laagwater $K_1$ eenzelfde tijdsverschil vertoont.

De hoogste of laagste stand valt dus op een bepaald tijdstip sterretijd.

Wanneer nu naast $M_2$, $K_1$ en $O_1$ ook het $S_2$ getij in rekening wordt gebracht, zal een hoogste of een laagste stand door de vier getijden voorkomen, als hoogwater $S_2$ met de hoogste stand door $M_2$, $K_1$ en $O_1$ of laagwater $S_2$ met de laagste stand, door de drie andere getijden veroorzaakt, samenvalt.

Hoog- en laagwater van $S_2$ vallen op een vast uur M.T., één op de voormiddag, één in de namiddag.

De hoogste, resp. laagste standen, door de vier getijden veroorzaakt, komen dus voor, als het vaste uur M.T. samenvalt met het uur sterretijd, waarvoor $M_2$, $K_1$ en $O_1$ de uiterste standen geven.

Valt dus b.v. LW $S_2$ te $a^u$ en te $(a + 12)^u$ M.T. en de laagste stand door $M_2$, $K_1$ en $O_1$ te $b^u$ sterretijd, dan zal, in verband met de betrekking sterretijd = M.T. + M.O.R.K. $\pm$ $12^u$, de laagst mogelijke stand door de vier getijden voorkomen als $b - a =$ MORK of MORK + $12^u$. De waarden van MORK, die uit deze twee betrekkingen volgen, bepalen twee data, die een half jaar uiteen liggen.

De combinatie $S_2$, $M_2$, $K_1$ en $O_1$ geeft dus telkens na een half jaar een hoogste en een laagste stand.

Hoeveel de hoogste of de laagste stand met de middenstand verschilt, hangt af van $g(K_1) + g(O_1) - g(M_2)$.

Bepaalt men het getijverloop door $M_2$, $K_1$ en $O_1$ over een tijdvak van $13\frac{2}{3}$ dag, dan kan men daarin bepalen wat de hoogste en wat de laagste stand is in dit tijdvak.

Men bepaalt nu de sterretijd voor de momenten der uiterste standen. Valt nu hoogwater $S_2$ samen met het moment van hoogste stand in de beschouwde combinatie, dan heeft men de hoogst voorkomende stand door de vier getijden. Valt laagwater $S_2$ samen met de laagste stand in de combinatie der drie andere getijden, dan heeft men de laagste stand door de vier getijden.

Wil men voor een bepaald jaar deze standen kennen, dan herleidt men de amplituden tot de waarden van het gegeven jaar.

Doet men dit niet, dan verkrijgt men het gemiddelde van de halfjaarlijks voorkomende hoogste of laagste standen in een periode van ongeveer 19 jaar (de tijd, waarin de factor f van een kleinste tot een hoogste waarde heen en weer schommelt).

Men kan echter uit de gegevens dikwijls beoordelen, wanneer ongeveer de uiterste standen worden bereikt en de beschouwing van het verloop door $M_2$, $K_1$ en $O_1$ beperken.

Men kan ook het $K_2$ getij in de beschouwingen opnemen.

Men heeft nl.

$$\text{phase } K_2 = 2T + 2(h - \nu'') - \varkappa(K_2),$$
$$\text{phase } K_1 = T + h - \nu' - 90° - \varkappa(K_1).$$

Hieruit

$$\text{phase } K_2 = 2 \times \text{phase } K_1 + 2(\nu' - \nu'') + 180° + 2\varkappa(K_1) - \varkappa(K_2).$$

$2(\nu' - \nu'')$ is practisch nul, en tevens

$$2\varkappa(K_1) - \varkappa(K_2) = 2g(K_1) - g(K_2),$$

zodat:

$$\text{phase } K_2 = 2 \times \text{phase } K_1 + 180° + 2g(K_1) - g(K_2).$$

Bij hoogwater en bij laagwater $K_1$ heeft $K_2$ dus eenzelfde phase. De invloed van $K_2$ op $K_1$ is dus steeds dezelfde.

Het getijverloop door $M_2$, $K_2$, $K_1$ en $O_1$ over $13\frac{2}{3}$ dag is dus steeds weer hetzelfde.

Ter toelichting wordt een bepaald geval beschouwd. Gevraagd wordt naar het gemiddelde van de halfjaarlijks voorkomende laagste standen bij de volgende gegevens.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $S_2$ | ampl. | 36 | cm, g = | 75° |
| $M_2$ | „ | 60 | „ , „ „ | 60° |
| $K_2$ | „ | 10 | „ , „ „ | 75° |
| $K_1$ | „ | 40 | „ , „ „ | 100° |
| $O_1$ | „ | 30 | „ , „ „ | 90° |

Men heeft hier:

$$\text{phase } M_2 = \text{phase } K_1 + \text{phase } O_1 + 100° + 90° - 60°$$
$$= \text{phase } K_1 + \text{phase } O_1 + 130°.$$

$$\text{phase } K_2 = 2 \times \text{phase } K_1 + 180° + 2 \times 100° - 75°$$
$$= 2 \times \text{phase } K_1 + 305°.$$

Bij laagwater springtij van het enkeldaagse getij is hier phase $M_2 = 130°$. De phase van $M_2$ moet dan 50° veranderen tot het tijdstip laagwater $M_2$. LW $M_2$ valt dan $1^u,7$ na LW $K_1$.

Vallen dus LW $K_1$ en LW $O_1$ samen, dan is de daling op dit tijdstip onder middenstand = ampl $K_1$ + ampl. $O_1$ + een gedeelte van de ampl. $M_2$.

Valt LW $M_2$ samen met LW $K_1$, dan is op dit tijdstip: phase $O_1 + 130° = 0°$, dus phase $O_1 = 230°$. Hier valt LW $O_1$ $3^u,5$ vóór LW $K_1$.

De daling onder middenstand is dan

ampl. $M_2$ + ampl. $K_1$ + een gedeelte van ampl. $O_1$.

Het ligt voor de hand het getijverloop na te gaan in de omgeving van deze standen, waarbij nog enkele daar tussen gelegen gevallen worden beschouwd. Men gaat dus het getijverloop na in b.v. de gevallen:

| | $O_1$ | $M_2$ | $K_2$ |
|---|---|---|---|
| *a.* | LW bij LW $K_1$ | LW $1^u,7$ na LW $K_1$ | LW $4^u$ vóór LW $K_1$ |
| *b.* | LW $1^u$ vóór LW $K_1$ | LW $1^u,2$ „ „ | LW $4^u$ „ „ |
| *c.* | LW $2^u$ „ „ | LW $0^u,7$ „ „ | LW $4^u$ „ „ |
| *d.* | LW $3^u$ „ „ | LW $0^u,2$ „ „ | LW $4^u$ „ „ |

Voor de wijze waarop men dit kan uitwerken met behulp van de Zeevaartkundige tafels (tafel XXXII) wordt verwezen naar het voorbeeld in par. 10.3.

Men vindt

| | | |
|---|---|---|
| *a.* | laagste stand | 117 cm $1^u,5$ na LW $K_1$ |
| *b.* | „ „ | 119 cm $1^u$ na LW $K_1$ |
| *c.* | „ „ | 120 cm bij LW $K_1$ |
| *d.* | „ „ | 118 cm bij LW $K_1$ |

Practisch kan men dus aannemen laagste stand 120 cm onder middenstand bij LW $K_1$ omstreeks één dag vóór enkeldaags springtij.

Uit g $(S_2) = 75°$ volgt als tijd HW $S_2$ $2^u,5$ en $14^u,5$, dus LW te $8^u,5$ en $20^u,5$.

Valt LW $K_1$ op dit uur van de dag, dan kan men de laagste stand door $M_2$, $S_2$, $K_2$, $K_1$ en $O_1$ verwachten.

Met de gemiddelde waarde van $V_0 + u$ voor $K_1$ op 1 Januari als 10° kan tijd HW $K_1$ voor 1 Januari bepaald worden.

Op 1 Januari is $360° - (V_0 + u) + g$ voor $K_1 = 90°$, dus tijd HW $6^u$, tijd LW $18^u$. Dit laagwater valt per maand $2^u$ vroeger, zodat omstreeks 1 Juni LW $K_1$ valt te $8^u$ en omstreeks 1 December te $20^u$.

Daar het geval *c.* geldt voor 1 dag vóór springtij kan men dus aangeven:

Op de dag vóór enkeldaags springtij in de laatste helft van Mei of de eerste helft van Juni (resp. Nov./Dec.) kan men als laagste stand door $M_2$, $S_2$, $K_2$, $K_1$, $O_1$ verwachten 120 cm + 36 cm = 156 cm onder middenstand.

Gaat men voor elk jaar afzonderlijk na wanneer de laagste standen vallen, dan zal dit bedrag variëren met de uiterste waarde, die de maansdeclinatie in die jaren bereikt. Men heeft zo het gemiddelde van de halfjaarlijks voorkomende laagste standen.

Voor het gevonden tijdvak kan men nu verder nagaan of het $P_1$ getij de stand nog merkbaar beïnvloedt. Tussen de phasen van $S_2$, $K_1$ en $P_1$ bestaat de betrekking

$$\text{phase } S_2 = \text{phase } K_1 + \text{phase } P_1 + g(K_1) + g(P_1) - g(S_2)$$

Waar hier bij de uiterste stand phase $S_2$ = phase $K_1 = 180°$, is dus phase $P_1$ bij die uiterste stand bekend.

Voor een bepaald jaar kan men bovendien nog nagaan, wat de invloed van het $N_2$ getij in het gevonden verloop is. De phase van het $N_2$ getij kan men echter niet in verband brengen met de phasen der andere getijden.

### 3.7 Getijbeschrijvingen

In de Zeemansgidsen voor de Oost-Indische Archipel komen getijbeschrijvingen voor, welke het mogelijk maken snel een globaal overzicht van de waterstanden te maken; hiertoe zijn zij opzettelijk eenvoudig gehouden.

Het dooreenlopen van de beide groepen met hun verschillende perioden en hun — hoewel geleidelijk — steeds wisselende uitslagen, maakt het samenstellen ener eenvoudige, korte beschrijving van een gemengd getij met vermelding van gegevens, welke voor direct gebruik in de practijk geschikt zijn, zoals voor de zuivere getijden vermeld kunnen worden, niet mogelijk. *Noodgedwongen* moet dan ook voor een gemengd getij volstaan worden met een afzonderlijke beschrijving voor de dubbeldaagse en voor de enkeldaagse groep, aangevuld met de vermelding van enkele gevolgtrekkingen, welke uit de plaatselijke eigenschappen van beide volgen. Op sommige plaatsen komt het namelijk voor, dat de springhoog- of springlaagwaters der beide groepen tweemaal 's jaars practisch samenvallen en dus bijzonder hoge of bijzonder lage waterstanden geven. Derhalve wordt in de beschrijving vermeld of deze samenvalling al of niet mogelijk is en in het eerste geval omstreeks welke tijd van het jaar en met welke uitslag ten opzichte van de middenstand.

Ook indien noch de springhoogwaters, noch de springlaagwaters van de twee getijsoorten precies samenvallen, kunnen tweemaal 's jaars hetzij bijzonder hoge, hetzij bijzonder lage waterstanden voorkomen, zoals bleek uit par. 3.6 (blz. 78).

Bij de ruwe schatting van het verloop der waterbeweging zijn afwijkingen in tijd van hoog- en laagwater tot 1 à 2 uur mogelijk; het laatste bedrag hoofdzakelijk voor de langzamer schommelende enkeldaagse groep, waarbij een tijdfout evenwel van minder belang is. De afwijkingen in hoogte kunnen bij uitzondering tot ¼ der totale rijzing stijgen, hetgeen hoogstens 8 dm bedraagt, doch zullen in de grote meerderheid der gevallen en voor de meeste plaatsen belangrijk kleiner zijn. Grotere nauwkeurigheid is niet te bereiken zonder de getijbeschrijvingen veel ingewikkelder te doen zijn, hetgeen echter hun toepassing aanzienlijk omslachtiger zou maken. Wordt grotere nauwkeurigheid verlangd, dan zal tot *getijberekening* met behulp der constanten toevlucht genomen moeten worden.

In de eerste plaats is in de beschrijving vermeld of het getij zuiver of nagenoeg zuiver dubbeldaags is, zuiver of nagenoeg zuiver enkeldaags of gemengd is; in het laatste geval is aangegeven of de dubbeldaagse, dan wel de enkeldaagse groep overwegende invloed heeft, of dat beide groepen ongeveer evenwichtig zijn.

Voor een *zuiver dubbeldaags getij* is opgegeven:

*a.* de leeftijd;

*b.* het gemiddeld verval bij spring- en doodtij;

*c.* de tijden van hoog- en laagwater bij springtij;

*d.* de verlating (vervroeging) van het hoogwater per etmaal gedurende een aantal etmalen na (vóór) de dag van springtij.

Voorts enkele zaken van ondergeschikt belang (met kleine letter) onder de meer algemene gegevens.

Sub *b* zijn niet opgenomen de vergroting der gemiddelde vervallen nabij de dag- en nachteveningen (Maart en September) en de verkleining nabij de solstitiën (Juni

en December). Met uitzondering van enkele riviermonden, waarvoor een voorspelling toch altijd slechts betrekkelijke waarde zal hebben in verband met de invloed van afkomend bovenwater, brengt deze vereenvoudiging in de Archipel een grootste fout van 1,5 dm in stand of 3 dm in verval mede.

In de beschrijving van een *zuiver enkeldaags getij* zijn nagenoeg overeenkomstige gegevens opgenomen. Aangezien echter het springtij van een enkeldaags getij niet op een vast uur valt, doch het gehele jaar door regelmatig vervroegt met een bedrag van nagenoeg één uur per springtijperiode van bijna 14 etmalen, zou slechts het uur kunnen worden opgegeven, waarop het op een bepaalde dag van springtij zou vallen. Voorts verlaat het hoogwater van een enkeldaags getij niet tamelijk regelmatig na springtij, zoals het hoogwater van een dubbeldaags getij doet, doch verlaat eerst over een viertal etmalen, vervroegt vervolgens over een vijftal etmalen en verlaat daarna weer. Een en ander maakt het ingewikkelder om het uur van enkeldaags hoogwater voor een bepaalde dag te benaderen, dan zulks voor een dubbeldaags getij het geval is. *Het vooropgezette doel der getijbeschrijving in het oog houdende*, is derhalve afgezien van het opgeven van overeenkomstige gegevens als voor een dubbeldaags getij sub *c*, doch wordt volstaan met de opgave *van tijd van HW. en LW. op 1 Januari en 1 Juli van het partiële getij* $K_1$, *de voornaamste component der enkeldaagse groep*. Daaraan is toegevoegd, dat deze standen per week *later* een half uur *vroeger* vallen. Het ondergeschikte enkeldaagse partiële getij $O_1$ veroorzaakt, dat het uur van enkeldaags hoog- en laagwater, behalve bij spring, afwijkt van de — volgens de getijbeschrijving — geschatte tijd, doch het langzame verloop van de enkeldaagse standen maakt deze verschillen bij een ruwe schatting aanvaardbaar.

Voor een zuiver enkeldaags getij is opgegeven:

*e*. de leeftijd;

*f*. het gemiddeld verval bij spring- en doodtij;

*g*. de tijden van hoog- en laagwater (van de voornaamste component $K_1$) op 1 Januari en 1 Juli, met vermelding, dat deze tijden per week $\frac{1}{2}$ uur vroeger vallen.

Voorts enkele zaken van ondergeschikt belang (met kleine letter) onder de meer algemene gegevens.

In een beschrijving van een *gemengd getij* kan niet anders worden gegeven dan de gescheiden beschrijving der beide samenstellende groepen. De schatting moet alsdan worden opgemaakt door combinatie der schattingen voor elke groep. Juist met het oog op het gebruik der beschrijvingen van gemengde getijden, welke het meest in de Archipel voorkomen, zijn de vermelde gegevens zo eenvoudig mogelijk gehouden.

Onder de meer algemene gegevens is (met kleine letters) voor de gemengde getijden ook opgenomen of de springhoog- en springlaagwaters al dan niet kunnen samenvallen. Voorts wanneer ongeveer de halfjaarlijkse hoogste en laagste waterstanden verwacht mogen worden en welke standen ten opzichte van de middenstand daarbij volgens de bekende constanten zullen voorkomen.

*De opgave van de afstand van de middenstand tot het reductievlak der kaart kan ontleend worden aan de laatste kolom van de lijst der getijconstanten achterin de Zeemansgids.*

Als *voorbeeld van een getijbeschrijving en het gebruik daarvan* is Zwaantjesdroogte gekozen, waarvan de constanten zijn:

| | A | g | | A | g |
|---|---|---|---|---|---|
| $S_2$ : | 25 cm | 356° | $K_1$ : | 46 cm | 306° |
| $M_2$ : | 43 cm | 324° | $O_1$ : | 22 cm | 274° |
| $K_2$ : | 8 cm | 96° | $P_1$ : | 9 cm | 286° |
| $N_2$ : | 8 cm | 301° | | | |

*Getijkarakter :* evenwichtig gemengd.

| | |
|---|---|
| *Dubbel-daags* | $\frac{\text{spring}}{\text{dood}}$ tij 1 etm. na $\frac{\text{VM. en NM.}}{\text{kwartierstanden}}$; gemiddeld verval $\frac{13\frac{1}{2}\text{ dm}}{3\frac{1}{2}\text{ dm}}$.<br>$\frac{\text{HW.}}{\text{LW.}}$ spring te $\frac{\text{12 h en 24 h}}{\text{6 h en 18 h}}$ Van 6 dagen vóór tot 6 dagen na springtij elke dag 40 min. *later*. Met doodtij 6 uur *later* dan bij springtij. |
| *Enkel-daags* | $\frac{\text{spring}}{\text{dood}}$ tij 1 etm. na maans $\frac{\text{grootste decl.}}{\text{decl.} = 0°}$; gemiddeld verval $\frac{13\frac{1}{2}\text{ dm}}{5\text{ dm}}$.<br>$\frac{\text{HW.}}{\text{LW.}}$ 1 Jan. te $\frac{\text{19 h 30}}{\text{7 h 30}}$; 1 Juli te $\frac{\text{7 h 30}}{\text{19 h 30}}$; elke week ½ uur *vroeger*. |

*Gevraagd : het globale verloop op 27 Juni* 19..
29 Juni 19.. = NM. en grootste declinatie.

Dubbeldaags:

27 Juni is 2 etm. vóór NM., dus 3 dagen vóór springtij; 3 × 40 min. = 2 h. HW. te 10 h en 22 h; LW. te 4 h en 16 h.

Het is 3 dagen vóór spring, periode van spring tot doodtij = 7½ dag, het geschat verval van de dag is dus 9 dm; ½ verval = 4½ dm.

Enkeldaags:

27 Juni is practisch 1 Juli, dus HW. te 7h30 en LW. te 19h30.

Het is 3 dagen vóór spring, periode van spring tot doodtij = 7 dagen, het geschat verval van de dag is dus 10 dm; ½ verval = 5 dm.

Combinatie:

| | 4 h | 7 h 30 | 10 h | 13 h 30 | 16 h | 19 h 30 | 22 h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| dd . . . . . . . . | — 4½ | — | + 4½ | — | — 4½ | — | + 4½ |
| ed . . . . . . . . | — | + 5 | — | 0 | — | — 5 | — |

*Resultaat :* Slechts één flink HW. in de morgenuren, tussen 7h30 en 10h, geschat ongeveer 9 dm boven middenstand; LW. ongeveer tussen 16h en 19h30, geschat ongeveer 8 dm beneden middenstand.

Berekening geeft HW. te 9h30 met 11 dm boven middenstand en LW. te 16h30 met 11½ dm beneden middenstand.

De hierbij gevonden grotere uitslagen zijn een gevolg van het verhogen van het HW. en het verlagen van het LW. door de gelijktijdige partiële hoog- en laagwaters van $N_2$, $K_2$ en $P_1$, een toevallige en niet veel voorkomende combinatie.

# IV. BEREKENING VAN HET GETIJVERLOOP

## 4.1 Getijverloop met behulp van Zeevaartkundige Tafels Deel I.

Bij de berekening van het getijverloop voor navigatiedoeleinden beperkt men zich tot de voornaamste partiële getijden, nl. $M_2$, $S_2$, $K_2$, $N_2$, $K_1$, $O_1$ en $P_1$, waarbij soms nog gevoegd worden de ondiepwatergetijden $M_4$, $MS_4$ en 2 MS.

De Nederlandse Zeevaartkundige Tafels geven in tafel XXVIII de waarde 360° — astronomisch argument voor 1 Januari voor de meridiaan van Greenwich. Dit astronomisch argument $V_0 + u$ wordt in Nederlandse werken gewoonlijk aangegeven door $V_0$. Hierin is dan het bedrag u opgenomen.

Tafel XXX geeft de correctie, die op deze waarden moet worden toegepast voor andere data.

Uit 360° — $V_0$ voor de datum volgt nu de tijd van hoogwater voor een bepaald partiëel getij.

Men heeft n.l. waterstand = ampl. × cos $[V_0 + nt - g]$.

Hoogwater valt dus als $V_0 + nt - g = 360°$, waaruit $t = \dfrac{360° - V_0 + g}{n}$.

Met deze tijd van hoogwater kan men voor elk uur van de dag de phase van het getij bepalen, waaruit dan de waterstand = ampl. × cos phase volgt.

De ampl. van $K_1$ en $O_1$ worden met tafel XXIX gecorrigeerd voor het jaar.

Tafel XXXII geeft nu bij gegeven amplituden de waterstanden voor $0^u,5$, $1^u$, $1^u5$, $2^u$ enz. vóór en na hoogwater.

In het algemeen valt $0^u,5$, $1^u$, $1^u,5$, $2^u$ enz. vóór of na hoogwater niet op halve en hele uren van het etmaal en geven de waarden van tafel XXXII voor de verschillende getijden standen voor tijdstippen, die voor deze getijden niet dezelfde zijn.

Om handiger te werken rondt men daarom de tijdstippen van hoogwater, die volgen uit $t = \dfrac{360° - V_0 + g}{n}$, af op halve of hele uren. Hierbij kan men gebruik maken van tafel XXXI.

Door dit afronden op halve of hele uren verkrijgt men voor de verschillende getijden bij gebruik van tafel XXXII standen op zelfde tijdstippen.

Wordt b.v. gevraagd de waterstand t.o.v. middenstand voor 6 Mei 1948 $6^u$, $7^u$, $8^u$, $9^u$ als gegeven is:

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $M_2$ | ampl. 60 cm | g : | 80° | $K_1$ | ampl. 40 cm | g : | 75° |
| $S_2$ | „ 30 „ | g : | 100° | $O_1$ | „ 20 „ | g : | 60° |

dan heeft men:

| | $M_2$ | $S_2$ | $K_1$ | $O_1$ |
|---|---|---|---|---|
| 360° — $V_0$ 1 Januari 1948. . . . . . . . . . | 107° | 0° | 356° | 109° |
| Corr. 6 Mei 1948 . . . . . . . . . . . . . . | 192° | 0° | 236° | 316° |
| g . . . . . . . . . . . . . | 80° | 100° | 75° | 60° |
| | 379° | 100° | 667° | 485° |
| 360° — $V_0$ + g . . . . . . . . . . . . . . | 19° | | 307° | 125° |
| Tijd hoogwater (afgerond op halve uren) . . . | $0^u,5$ | $3^u,5$ | $20^u,5$ | $9^u$ |

Volgens tafel XXIX de amplituden van $K_1$ en $O_1$ resp. met 9 % en 15 % corrigerende, krijgt men

ampl. $K_1$ = 44 cm,
ampl. $O_1$ = 23 cm.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Voor $M_2$ zijn $6^u$, $7^u$, $8^u$, $9^u$ resp. | $5^u,5$, | $6^u,5$, | $7^u,5$ en | $8^u,5$ | na | HW, |
| $S_2$ | $2^u,5$, | $3^u,5$, | $4^u,5$ en | $5^u,5$ | na | HW, |
| $K_1$ | $14^u,5$, | $13^u,5$, | $12^u,5$ en | $11^u,5$ | vóór | HW, |
| $O_1$ | $3^u$, | $2^u$, | $1^u$, en | $0^u$ | vóór | HW. |

Men heeft dan met tafel XXXII:

| | $M_2$ | $S_2$ | $K_1$ | $O_1$ | Totaal |
|---|---|---|---|---|---|
| $6^u$ | — 56 | 8 | — 35 | 17 | — 66 |
| $7^u$ | — 59 | — 8 | — 41 | 20 | — 88 |
| $8^u$ | — 48 | — 21 | — 44 | 22 | — 91 |
| $9^u$ | — 24 | — 29 | — 44 | 23 | — 74 |

Een volledig uitgewerkt voorbeeld vindt men in par. 10.4. De aandacht wordt er op gevestigd, dat de getijkrommen voor elk partieel getij symmetrisch zijn t.o.v. HW. Voor uren vóór HW worden dus dezelfde standen ingevuld als voor overeenkomstige uren na HW.

Zoals vroeger is besproken moeten *alle* gegeven amplituden herleid worden tot de amplitude, die overeenkomt met de momentele stand van de knopenlijn van de maansbaan. De Nederlandse zeevaartkundige tafels geven deze herleiding alleen voor de getijden $K_1$ en $O_1$.

Het afronden van de tijd van hoogwater van een partieel getij op halve of hele uren kan aanleiding geven tot een fout in de phase van het getij op de momenten, waarvoor de waterstanden worden ingevuld.

Bij afronding op hele uren kan deze fout bij de dubbeldaagse getijden oplopen tot 15°, bij de enkeldaagse tot 7°,5, bij de ondiepwatergetijden $M_4$ en $MS_4$ tot 30°. Hierdoor kunnen in de waterstanden fouten voorkomen, die bij de dubbeldaagse getijden ongeveer $\frac{1}{4}$ van de amplitude, bij de enkeldaagse $\frac{1}{8}$ en bij $M_4$ en $MS_4$ de helft van de amplitude bedragen.

Vooral als de getijden $M_4$ en $MS_4$ voorkomen, kan men dan een onjuist beeld van het getijverloop krijgen. Daarom verdient het aanbeveling de tijden van hoogwater op halve uren te noteren.

Een verbetering van de getijvoorspelling kan nog worden verkregen door gebruik van tafel 11, hoofdstuk XI. Deze tafel is ontleend aan de publicatie „The portable tide predicting machine", uitgegeven door het Britse Hydrografische Departement (Professional Paper No. 3, Part V).

De tafel is verdeeld in drie tafels X, $Y_1$ en $Y_2$, waarin men met verticale ingang $\theta$ de correcties kan vinden, die op de *verbeterde* amplituden en waarden P = 360°—g van de in de tafels opgegeven getijden moeten worden toegepast, om ze te corrigeren voor de invloeden van ondergeschikte getijden.

Zo wordt $K_1$ gecorrigeerd voor $M_1$ en $J_1$,
$O_1$ gecorrigeerd voor $Q_1$,
$M_2$ gecorrigeerd voor $L_2$ en 2 $N_2$,
} Tafel X

| | | |
|---|---|---|
| $M_4$ gecorrigeerd voor $MN_4$, | | Tafel X |
| $S_2$ gecorrigeerd voor $T_2$, | } | Tafel $Y_1$ |
| $MS_4$ gecorrigeerd voor $MK_4$ en $MT_4$, | } | |
| $N_2$ gecorrigeerd voor $\nu_2$ | | Tafel $Y_2$ |

Teneinde deze invloeden te benaderen, is men uitgegaan van verhoudingen, die volgen uit de evenwichtstheorie.

Heeft men een getij, dat gestoord wordt door 2 andere getijden, dan kan men de waterbeweging tengevolge van deze drie getijden voorstellen door de betrekking:

$$y = A_1 \cos (V_1 + u_1 - g_1) + A_2 \cos (V_2 + u_2 - g_2) + A_3 \cos (V_3 + u_3 - g_3),$$

waarbij

$$y = A_1 \left\{ \cos a + \frac{A_2}{A_1} \cos (a + b) + \frac{A_3}{A_1} \cos (a + c) \right\},$$ als men stelt:

$V_1 + u_1 - g_1 = a$; $V_2 + u_2 - g_2 - (V_1 + u_1 - g_1) = b$; $V_3 + u_3 - g_3 - (V_1 + u_1 - g_1) = c$.

$$y = A_1 \left( \cos a + \frac{A_2}{A_1} \cos a \cos b - \frac{A_2}{A_1} \sin a \sin b + \frac{A_3}{A_1} \cos a \cos c - \frac{A_3}{A_1} \sin a \sin c \right)$$

$$= A_1 \left\{ \cos a \left( 1 + \frac{A_2}{A_1} \cos b + \frac{A_3}{A_1} \cos c \right) - \sin a \left( \frac{A_2}{A_1} \sin b + \frac{A_3}{A_1} \sin c \right) \right\}.$$

$$1 + \frac{A_2}{A_1} \cos b + \frac{A_3}{A_1} \cos c = (1 + W) \cos w \text{ en} \tag{4.1a}$$

$$\frac{A_2}{A_1} \sin b + \frac{A_3}{A_1} \sin c = (1 + W) \sin w \tag{4.1b}$$

stellende, krijgt men:

$$y = A_1 \{ (1 + W) \cos a \cos w - (1 + W) \sin a \sin w \}, \text{ of}$$

$$y = (1 + W) A_1 \cos (a + w).$$

De tafel geeft de waarden $(1 + W)$ en $w$, waarbij $(1 + W)$ een factor is, waarmede de amplitude van het hoofdgetij moet worden vermenigvuldigd, terwijl $w$ de correctie is op de term $P = 360° - g$.

Aan de hand van deze theorie zullen enkele waarden $w$ en $(1 + W)$ worden berekend.

*Tafel X.*

1) Volgens het voorgaande wordt $O_1$ beinvloed door $Q_1$. Uit de evenwichtstheorie volgt, dat $\frac{\text{ampl. } Q_1}{\text{ampl. } O_1} = 0{,}194$, terwijl $gQ_1 = gK_1 - 1{,}5\,(gK_1 - gO_1)$ gesteld kan worden.

Uit formules (4.1a) en (4.1b) volgt voor 2 getijden:

$$1 + \frac{A_2}{A_1} \cos b = (1 + W) \cos w$$

$$\frac{A_2}{A_1} \sin b = (1 + W) \sin w,$$ waarbij in dit geval $b = (V + u - g)\, Q_1 - (V + u - g)\, O_1$.

Met de argumenten, voorkomende op blz. 31, vindt men voor b:

$$\begin{array}{lllll} & T - 3s + h & + p & + 90^\circ + 2\xi - \nu - gK_1 & + 1{,}5\,(gK_1 - gO_1) \\ & T - 2s + h & & + 90^\circ + 2\xi - \nu - gO_1 & \\ \hline b = & \quad - s & + p & & + 0{,}5\,(gK_1 - gO_1) \end{array} \qquad (4.1c)$$

*Tafel X* geeft als verticale ingang voor $K_1$ en $O_1$ de waarde $\theta$, zijnde het verschil in astr. argumenten van $M_2$ en $N_2$ + halve verschil in waarden P (= 360° — g) van $K_1$ en $O_1$. Dit uitwerkende krijgt men:

$$\begin{array}{lll} & 2T - 2s + 2h + 2\xi - 2\nu & \\ & 2T - 3s + 2h + 2\xi - 2\nu + p & \\ \hline \theta = & \quad s \qquad\qquad\qquad\qquad - p & + 0{,}5\,(360^\circ - gK_1 - 360^\circ + gO_1) \end{array}$$

$$\theta = s - p - 0{,}5\,(gK_1 - gO_1) \qquad (4.1d)$$

Uit (4.1c) en (4.1d) blijkt, dat $b = -\theta$

Hierdoor wordt $1 + \frac{A_2}{A_1} \cos b = (1 + W) \cos w$ en $\frac{A_2}{A_1} \sin b = (1 + W) \sin w$ bij een waarde van bv. $\theta = 270^\circ$ of $b = 90^\circ$;

$$1 + 0{,}194 \cos 90^\circ = (1 + W) \cos w;$$
$$0{,}194 \sin 90^\circ = (1 + W) \sin w;$$

$\mathrm{tg}\, w = 0{,}194$; $w = 11^\circ$ en $1 + W = 1{,}02$. De tafel geeft dezelfde waarden.

2) $M_2$ wordt gestoord door $L_2$ en $2N_2$. Volgens de evenwichtstheorie is $\frac{\text{ampl. } L_2}{\text{ampl. } M_2} = 0{,}028$, $\frac{\text{ampl. } 2N_2}{\text{ampl. } M_2} = 0{,}026$, terwijl $gL_2 = gS_2 - 0{,}5\,(gS_2 - gM_2)$ en $g\,2N_2 = gS_2 - 2\,(gS_2 - gM_2)$ gesteld kan worden.

Uit $b = (V + u - g)\,L_2 - (V + u - g)\,M_2$ en $c = (V + u - g)\,2N_2 - (V + u - g)\,M_2$ volgt:

$$\begin{array}{llll} & 2T - s + 2h & - p + 180^\circ + 2\xi - 2\nu - gS_2 & + 0{,}5\,(gS_2 - gM_2) \\ & 2T - 2s + 2h & \qquad\qquad\quad + 2\xi - 2\nu - gM_2 & \\ \hline b = & \qquad s & - p + 180^\circ & - 0{,}5\,(gS_2 - gM_2) \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} & 2T - 4s + 2h & + 2p + 2\xi - 2\nu - gS_2 & + 2\,(gS_2 - gM_2) \\ & 2T - 2s + 2h & \qquad + 2\xi - 2\nu - gM_2 & \\ \hline c = & \quad - 2s & + 2p & + gS_2 - gM_2 \end{array}$$

Volgens de tafel is $\theta = s - p + 0{,}5\,(360^\circ - gS_2 - 360^\circ + gM_2)$
$= s - p - 0{,}5\,(gS_2 - gM_2)$.

$b = \theta + 180^\circ$.

$c = -2\,\theta$.

Deze waarden aangebracht in (4.1a) en (4.1b) geeft:

$$1 + 0{,}028 \cos(\theta + 180^\circ) + 0{,}026 \cos 2\theta = (1 + W) \cos w$$
$$0{,}028 \sin(\theta + 180^\circ) - 0{,}026 \sin 2\theta = (1 + W) \sin w$$

Voor b.v. $\theta = 180^\circ$ vindt men $w = 0^\circ$ en
$1 + W = 1{,}054$. De tafel geeft dezelfde waarden.

3) Op de correctie-waarden van $K_1$ zal niet nader worden ingegaan.

Voor evenwichtsverhoudingen zijn volgens het „Hydrographic Department" gebruikt $\frac{\text{ampl. } J_1}{\text{ampl. } K_1} = 0{,}056$ en $\frac{\text{ampl. } M_1}{\text{ampl. } K_1} = 0{,}056$.

4) Voor de correctie-term van $M_4$ is gebruikt de verhouding $\frac{\text{ampl. } MN_4}{\text{ampl. } M_4} = 0{,}38$.

Bij narekenen vindt men, dat $b = -\theta$, zodat de waarden w en $(1 + W)$ kunnen worden teruggevonden uit de betrekkingen:

$1 + 0{,}38 \cos \theta = (1 + W) \cos w$ en $-0{,}38 \sin \theta = (1 + W) \sin w$.

*Tafel $Y_1$.*

$S_2$ wordt beïnvloed door $T_2$.

Volgens de evenwichtstheorie is $\frac{\text{ampl. } T_2}{\text{ampl. } S_2} = 0{,}059$, terwijl $gT_2 = gS_2 - 0{,}04\ (gS_2 - gM_2)$.

De waarde $0{,}04\ (gS_2 - gM_2)$ verwaarlozende, vindt men voor b:

$$\begin{array}{ll} & 2T - h + p_1 - gT_2 \\ & \underline{2T \qquad\qquad - gS_2} \\ b = & \quad - h + p_1 \end{array}$$

In de tafel heeft men voor $\theta$ genomen het astr. argument van $P_1 = T - h + 90°$.

Voor $p_1$ de waarde 282° stellende (lengte van zonsperigeum), vindt men voor b bij een waarde van $T = 180°$ (voor $0^u$ M.T.G. is T = middelbare ⊙ WP = 180°): $b = \theta + 12°$.

De waarden van w en $(1 + W)$ zijn nu te berekenen uit de betrekking $1 + 0{,}059 \cos (\theta + 12°) = (1 + W) \cos w$ en $0{,}059 \sin (\theta + 12°) = (1 + W) \sin w$.

Voor b.v. $\theta = 90°$ vindt men voor $w = 3°$ en $(1 + W) = 0{,}99$.

De correcties voor $MS_4$ zijn vrijwel identiek aan die voorkomende in tafel 10 van hoofdstuk XI met dien verstande, dat in de hierboven besproken tafel de waarde $1 + W$ wordt gegeven.

*Tafel $Y_2$.*

Hierin zijn de correcties voor $N_2$ eveneens identiek aan de waarden van de $N_2$ tabel van tafel 10.

Het nut van de besproken tafel moge blijken uit het volgende voorbeeld.

Klachten werden ontvangen over het feit, dat waarden in de getijtafels Oost-Indische Archipel 1948 voor de Palembang rivier in sommige gevallen meer dan 1 voet afweken van de Britse getijtafel, bij welke laatste o.a. rekening was gehouden met de getijden $M_1$, $J_1$ en $Q_1$. Door toepassing van de besproken tafels werden de verschillen tot op 1 dm teruggebracht.

Uit de ervaring bleek, dat bij toepassing der correcties volgens tafel 11 steeds betere voorspellingen werden verkregen, bij vergelijk met waargenomen krommen.

Bij grote amplituden van $K_1$ en $O_1$, zoals bij de Digoelrivier in Nieuw Guinee en in de omgeving van Straat Banka, kunnen op deze wijze belangrijke verschillen tussen waargenomen krommen en voorspelde krommen worden opgeheven.

Bij gebruik van de Zeevaartkundige Tafels Deel I, wordt er nogmaals op gewezen, dat deze in tafel XXVIII de waarden 360° — $V_0$ geven, terwijl, als men bij het berekenen van de tijden van HW het gebruikelijke schema volgt, men correcties op de + g waarden moet geven, zodat in dit geval de correcties w van bovenbesproken tafel met *tegengesteld* teken moeten worden toegepast.

**Voorbeeld**

Palembang Rivier (Buitendrempel) 1 Augustus 1949

| | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| g | 191° | 233° | 157° | 269° | 156° | 86° | 154° |
| Amplituden in cm | 27 | 13 | 5 | 4 | 88 | 60 | 23 |
| 360°—$V_0$ 1 Jan. 1949 | 30 | 0 | 157 | 165 | 353 | 36 | 10 |
| Datumverbetering 1 Aug. | 129 | 0 | 19 | 302 | 151 | 338 | 209 |
| g | 191 | 233 | 157 | 269 | 156 | 86 | 154 |
| Correctie w (tegengesteld teken van tafels X, $Y_1$ en $Y_2$) | 0 | —1 | 9 | | 1 | —2 | |
| Som | 350 | 232 | 342 | 736 | 661 | 458 | 373 |
| of | 350 | 232 | 342 | 16 | 301 | 98 | 13 |
| Tijden van HW afgerond op halve uren, tafel XXXI | $12^u$ | $7^u,5$ | $12^u$ | $0^u,5$ | $20^u$ | $7^u$ | $1^u$ |
| Amplituden | 27 | 13 | 5 | 4 | 88 | 60 | 23 |
| Verbetering tafel XXIX | | | | | 10 | 10 | |
| 1e Verbeterde amplituden | 27 | 13 | 5 | 4 | 98 | 70 | 23 |
| 1 + W | 1.00 | 0.95 | 0.89 | | 1.11 | 1.18 | |
| 2e Verbeterde amplituden | 27 | 12 | 4 | 4 | 109 | 83 | 23 |

$$\theta K_1 \text{ en } \theta O_1 = V_0M_2 - V_0N_2 + 0{,}5\,(360° - gK_1) - 0{,}5\,(360° - gO_1) \text{ of}$$
$$(360° - V_0)\,N_2 - (360° - V_0)\,M_2 + \frac{gO_1 - gK_1}{2} = 17° - 35° = -18°.$$
$$\theta M_2 = V_0M_2 - V_0N_2 + 0{,}5\,(360° - gS_2) - 0{,}5\,(360° - gM_2) \text{ of}$$
$$(360° - V_0)\,N_2 - (360° - V_0)\,M_2 + \frac{gM_2 - gS_2}{2} = 17° - 21° = -4°.$$
$$\theta S_2 = V_0P_1 = 141°.$$
$$\theta N_2 = 3 \times V_0M_2 - 2 \times V_0N_2 \text{ of } 2\,(360° - V_0)\,N_2 - 3\,(360° - V_0)\,M_2 = 235°.$$

In sommige gevallen, waarbij $K_1$ en $O_1$ coïncideren, kan men dus fouten in het verval van ± 0,5 m op bovenaangegeven wijze wegwerken.

## 4.2 Tijden van HW en LW volgens de Admiralty Methode

Een geheel andere werkwijze volgen de Admiralty Tide Tables.

De verschillende partiële getijden worden hier gecombineerd tot 4 getijden: het M getij, het S getij, het K getij en het O getij.

Het M getij bestaat uit de dubbeldaagse getijden veroorzaakt door de maan, met uitzondering van het $K_2$ getij.

Het S getij bestaat uit de dubbeldaagse getijden veroorzaakt door de zon, met inbegrip van het gedeelte van $K_2$, dat door de maan wordt ingevoerd.

Het K getij is een combinatie van het $K_1$ getij en het $P_1$ getij, waarbij de invloed van de veranderingen in afstand van de maan in rekening wordt gebracht.

Het O getij is het $O_1$ getij met die enkeldaagse getijden, die dit getij wijzigen door de veranderingen in de afstand van de maan.

In par. 1.8 bleek, dat, vóór de afstandsverandering van de maan in rekening werd gebracht, het $M_2$ getij afhangt van de waarde $2(h - s) + 2(\xi - \nu)$, waarin s de ware lengte van de maan.

Het vervangen van s door middelbare maanslengte met de correcties voor de elliptische beweging en het vermenigvuldigen van de amplitude met een factor, omgekeerd evenredig met $p^3$ (p verschilzicht) of $\frac{1}{d^3}$ (d afstand maan) voerde de maans-elliptische getijden in.

In de evenwichtstheorie kan men dus het M getij bepalen door als astronomisch argument te nemen het astronomisch argument van $M_2$, waarin de middelbare maanslengte vervangen is door de ware lengte en de amplitude van het M getij te nemen gelijk aan die van $M_2$, vermenigvuldigd met een factor, die afhangt van het verschilzicht van de maan.

Bij de werkelijke getijbeweging neemt men nu aan, dat de waarde van g voor het M getij dezelfde is als die voor $M_2$ en ook de verhouding der amplituden van M en $M_2$ dezelfde is als volgens de evenwichtstheorie.

In de oorspronkelijke opzet, zoals die nog voorkomt in Admiralty Tide Tables Part III, 1941, werd de gewijzigde waarde van $360° - V_0$ voor het M getij gevonden uit twee termen $c = 2(s - h)$ en $b = -2(\xi - v)$. Verder werd door vermenigvuldiging met een factor B (die gelijk is aan de reductiefactor f uit par. 1.8) en een factor C, afhangende van het verschilzicht van de maan, de amplitude van het M getij $= B \times C \times$ ampl. $M_2$.

De beweging door het M getij is dan bepaald door

$$M \cos (b + c + g - 28°{,}984\ t) \text{ of, met } b + c + g = m,$$

$$M \cos (m - 28°{,}984\ t).$$

De getijden $S_2$, $K_2$ en $T_2$ worden gecombineerd tot één getij, zoals aangegeven in par. 2.3 bij de analyse der getijbeweging.

Daar werd gevonden voor deze combinatie

$$(1 + W)\ S_2 \cos (30°.t - g + w).$$

Met $b + c = 360° - w$ en $1 + W = B \times C$ geeft dit

$$B \times C \times S_2 \cos (b + c + g - 30°.t) \text{ of, met } b + c + g = s,\ S \cos (s - 30°.t).$$

Bij de analyse in par. 2.3 bleken $K_1$ en $P_1$ gecombineerd te kunnen worden tot $(1 + W)\ K_1 \cos (V_0 + u - g + w + 15°{,}041\ t)$, waarin $V_0 + u$ het astronomisch argument voor $K_1$ is. Stelt men $360° - (V_0 + u + w) = b + c$ en brengt men de afstandsverandering van de maan in rekening door vermenigvuldiging met een factor, die afhangt van de parallax van de maan, dan kan men de beweging door $K_1$, $P_1$, $J_1$ en het gedeelte van $M_1$, dat afhangt van $K_1$, voorstellen door $B \times C \times K_1 \cos (b + c + g - 15°{,}041\ t)$. Met $b + c + g = k$ is dan deze beweging

$$K \cos (k - 15°{,}041\ t).$$

De vergelijking van de astronomische argumenten van $M_2$ en $O_1$ (zie par. 1.10), d.z. de waarden van $V + u$ voor $T = 180°$, geeft

$$V_0 + u \text{ voor } M_2 = V_0 + u \text{ voor } O_1 + h + 90° - \nu.$$

Voor M getij en O getij wordt nu dezelfde betrekking aangenomen en komt men tot (b + c) voor $O_1$ = (b + c) voor $M_2 + h + 90° - \nu$.

De amplitude van het O getij, dat een combinatie is van $O_1$, $Q_1$ en het gedeelte van $M_1$, dat met $O_1$ samenhangt, wordt gevonden door vermenigvuldiging van de amplitude van $O_1$ met een factor afhankelijk van de stand van de knopenlijn van de maansbaan en één afhankelijk van de parallax van de maan.

De combinatie geeft dus een beweging $B \times C \times O_1 \cos (b + c + g - 13°,943\ t)$ of met $b + c + g = o$, $O \cos (o - 13°,943\ t)$.

Om tot de totale getijbeweging te komen, gebruiken de Admiralty Tide Tables twee verschillende rekenwijzen, die aangegeven worden als „Admiralty Method".

De ene geeft het getijverloop voor een bepaald etmaal, de andere bepaalt alleen de tijdstippen van hoog- en laagwater met de daarbij behorende waterstanden.

Daar de opgaven in de Admiralty Tide Tables gebaseerd zijn op de eerste rekenwijze, zal deze eerst worden besproken.

Voor de uitwerking worden speciale formulieren met diagrammen (Admiralty Prediction Form HD 289) uitgegeven.

De combinatie van M getij en S getij kan men aangeven door

$$M \cos (m - 28°,984\ t) + S \cos (s - 28°,984\ t - 1°,016\ t).$$

Die van K getij en O getij door

$$K \cos (k - 14°,492\ t - 0°,549\ t) + O \cos (o - 14°,492\ t + 0°,549\ t).$$

De termen 1°,016 t en 0°,549 t worden benaderd voor het beschouwde etmaal door t = 12 te nemen. 1°,016 × 12 = 12°,192, 0°,549 × 12 = 6°,588.

De Admiralty Tide and Tidal Stream Tables 1949 voor plaatsen buiten de Europese wateren geven in Table VII van dag tot dag voor de getijden $M_2$, $S_2$, $K_1$ en $O_1$ de waarde b + c als „angle" en die van B × C als „factor".

Ter vereenvoudiging van de berekeningen worden de waarden 12°,192 en 6°,588 direct in de opgegeven angles opgenomen.

Men heeft dan: angle voor $M_2$ = b + c, angle voor $S_2$ = b + c — 12°,192, angle voor $K_1$ = b + c — 6°,588, angle voor $O_1$ = b + c + 6°,588.

De hoekwaarden s, k en o zijn dus telkens angle + g voor het betreffende getij.

Het dubbeldaagse getij is dan bepaald door

$$M \cos (m - 28°,984\ t) + S \cos (s - 28°,984\ t).$$

Stelt men nu s — m = d, dan kan dit herleid worden tot

$$(M + S \cos d) \cos (m - 28°,984\ t) - S \sin d \sin (m - 28°,984\ t).$$

Met $M + S \cos d = E \cos e$ en $S \sin d = E \sin e$ wordt nu in het diagram de richting e en de vector E geconstrueerd.

De richting bepaalt in het diagram de tijd van hoogwater van het dubbeldaagse getij.

Door stralen in het diagram en een bijbehorende doorzichtige schaal kan men de waterstanden voor verschillende tijdstippen van het etmaal aflezen.

De enkeldaagse beweging is bepaald door

$$K \cos (k - 14°,492\ t) + O \cos (o - 14°,492\ t).$$

Met o — k = d is dan deze vorm te herleiden tot

$$(K + O \cos d) \cos (k - 14°,492\ t) - O \sin d \sin (k - 14°,492\ t).$$

Analoog met de handelwijze bij het dubbeldaagse getij construeert men weer in het diagram een richting e en een vector E uit K + O cos d = E cos e en O sin d = E sin e. De richting e bepaalt in het diagram de tijd van hoogwater, terwijl de stralen in het diagram met de schalen op het doorzichtige blad de waterstanden door het enkeldaagse getij opleveren.

De afgelezen standen van beide getijden worden in een schema genoteerd en daarna de totale stand ten opzichte van reductievlak afgeleid. Op het formulier kan men nu het diagram voor het getijverloop construeren.

Op Tidal Prediction Form HD 289 staan aanwijzingen voor de constructies vermeld. (Voor een bespreking van de inrichting van de diagrammen voor deze methode wordt verwezen naar het tijdschrift „De Zee" 1948).

De rekenwijze, die dient om de tijden van hoog- en laagwater benevens de standen op die tijdstippen te bepalen, zonder het gehele getijverloop voor het etmaal te berekenen wordt uitgevoerd met behulp van de Tidal Prediction Form HD 288A en 288B.

Hierbij wordt als benadering de hoeksnelheid voor het dubbeldaagse getij op 30°, die van het enkeldaagse getij op 15° genomen.

De dubbeldaagse beweging wordt nu

$$M \cos (m - 30°.\,t + 1°{,}016\, t) + S \cos (s - 30°.\,t).$$

De enkeldaagse beweging is bepaald door

$$K \cos (k - 15°.t - 0°{,}041\, t) + O \cos (o - 15°.t + 1°{,}057\, t).$$

De termen 1°,016 t, 0°,041 t en 1°,057 t benadert men voor het beschouwde etmaal door t = 12 te nemen. Zij worden dus resp. 12°,192, 0°,492 en 12°,684.

Men kan deze correcties in m, k en o opnemen door uit te gaan van gewijzigde waarden voor b + c.

| | | |
|---|---|---|
| Voor $M_2$ neemt men dan | b + c + 12°,192 | = angle table VII + 12°,192. |
| Voor $S_2$ | b + c | = angle table VII + 12°,192. |
| Voor $K_1$ | b + c — 0°,492 | = angle table VII + 6°,096. |
| Voor $O_1$ | b + c + 12°,684 | = angle table VII + 6°,096. |

In verband hiermede wordt in de Admiralty Tide Tables vóór Table VII aangegeven: „If these tables are used with form HD 288A and 288B the following adjustments should be made to the tidal angles: for $M_2$ add 12°, for $S_2$ add 12°, for $K_1$ add 7°, for $O_1$ add 6°". (Dat A.T.T. voor $K_1$ 7° opgeven, in plaats van 6°, vindt zijn oorzaak hierin, dat het verschil van de hoeksnelheid van $K_1$ en 15° is verwaarloosd).

Het dubbeldaagse getij door M getij en door S getij geeft nu t.o.v. de middenstand

$$y = M \cos (m - 30°.t) + S \cos (s - 30°.t).$$

Men stelt nu M : S = D en m — s = d, waardoor

$$\frac{y}{S} = D \cos (d + s - 30°.t) + \cos (s - 30°.t)$$

$$= (1 + D \cos d) \cos (s - 30°.t) - D \sin d \sin (s - 30°.t).$$

Zet men 1 + D cos d = E cos e en D sin d = E sin e, dan is

$$y = S\, E \cos (s + e - 30°.t).$$

De Admiralty Tide Tables, Part III, geven in table 3 met de argumenten M : S = D en m — s = d de waarden van E en e.

De amplitude van het dubbeldaagse getij is dus S E, terwijl de tijd van hoogwater volgt uit $\frac{s + e}{30°} \times 1^u$.

Analoog stelt men de beide enkeldaagse getijden samen tot één enkeldaags getij.

Men stelt O : K = D en o — k = d.

Met D en d vindt men in de A.T.T., Part III, in table 3 waarden E en e, waarmede het enkeldaagse getij wordt

$$K\,E \cos (k + e - 15°.t).$$

De tijd van hoogwater van het enkeldaagse getij volgt dus uit $\frac{k + e}{15°} \times 1^u$, de amplitude is K E.

De amplitude S E van het dubbeldaagse getij wordt verder door $F_2$, die van het enkeldaagse getij door $F_1$ aangegeven. De tijden van hoogwater zijn respectievelijk $f_2$ en $f_1$ uur.

Men bepaalt nu $F_1 : F_2 = J$ en $f_1 - f_2 = j$, waarbij negatieve waarden worden vermeden door $24^u$ bij te tellen.

Met J en j als argumenten geeft nu table 4 in A.T.T., Part III, tijdsverschillen I en verhoudingsgetallen L.

De tijdsverschillen, toegepast op $f_2$, geven de tijden van hoog- en laagwater voor de combinatie van dubbeldaags en enkeldaags getij voor het beschouwde etmaal. De waarden L bepalen de waterstanden t.o.v. de middenstand als $L \times F_2$.

Op plaatsen, waar geen ondiepwatergetijden voorkomen, verkrijgt men zo practisch bruikbare waarden voor de tijden van hoog- en laagwater en voor de standen op deze momenten.

In verband met het feit, dat voor het M getij als hoeksnelheid 30° is genomen en dus een periode van $12^u$ voor dit getij wordt gerekend, ontstaat een fout in de tijden van hoog- en laagwater. Door de correctie van 12° op de waarden van b + c voor $M_2$ en $O_1$ wordt deze fout gereduceerd tot $0^u,4$ voor tijden dichtbij middernacht.

Wil men groter nauwkeurigheid, dan kan men met behulp van A.T.T., Part III, table 5, een correctie toepassen.

De correctie van table 5 berust op het volgende:

Heeft men twee getijden, waarvan de hoeksnelheden verschillen, dan is de stand van deze getijden bepaald door

$$y = A \cos (a - n't) + B \cos (b - nt).$$

Men stelt A = DB, d = a — b en heeft dan

$$\frac{y}{B} = D \cos (d + b - n't) + \cos (b - nt) =$$

$$= D \cos \{b + d + (n - n')t - nt\} + \cos (b - nt).$$

Herleidt men, zoals boven is gedaan tot E cos (b + e — nt), dan moeten E en e bepaald worden uit D = A : B en d = a — b + (n — n')t.

Zijn echter E en e bepaald uit D = A : B en d = a — b, dan kan men met de hieruit gevonden waarde van de tijd van hoogwater d = a — b + (n — n') t

berekenen en E en e opnieuw afleiden met de gecorrigeerde d en de tijd van hoogwater beter benaderen.

Om dit overcijferen te ontgaan, wordt in de tafels a met (n — n') × 12 vermeerderd, wat hierop neerkomt, dat voor $M_2$ bij de waarde b + c, 12° wordt opgeteld.

Is de tijd van hoogwater $12^u$, dan is overcijferen overbodig.

Wil men voor andere tijden van hoogwater nauwkeuriger waarden bepalen, dan geeft table 5 met de argumenten D en d de verandering △ e van e voor een verandering van d met een bedrag n — n'.

Deze verandering wordt direct in tijd uitgedrukt.

Verschilt nu de gevonden tijd van hoogwater een bedrag △ t in uren met $12^u$, dan is de correctie, die nodig is, gelijk aan term table × △ t.

De tafel maakt onderscheid tussen „$S_2$ correction", waarvoor n — n' = 30° — 28°,984 = 1°,016 en de verandering 30° per uur is, en „$K_1$ correction", waarvoor n — n' = 15°,041 — 13°,943 = 1°,098 en de verandering 15° per uur bedraagt.

Zijn er belangrijke ondiepwatergetijden, dan wordt bij de opgaven van de getijconstanten in Admiralty Tide Tables, Part II, opgegeven, welke correcties op de tijden en op de hoogten moeten worden toegepast (shallow-water corrections).

### 4.3 Gebruik van de waarden „angle" en „factor" van de Admiralty methode i.v.m. de Zeevaartkundige Tafels Deel I

Bij de in par. 4.1 besproken werkwijze heeft men de constanten nodig van alle getijden, waarvan de amplituden van belang zijn.

De getijconstanten zal men daarvoor in vele gevallen moeten ontlenen aan de Admiralty Tide Tables.

Deze geven in de laatste jaren echter alleen de constanten voor $M_2$, $S_2$, $K_1$ en $O_1$. Bepaalt men zich alleen tot deze getijden, dan komt dit neer op een verwaarlozen der andere getijden.

Men kan echter het getijverloop voor een bepaalde dag met de Zeevaartkundige Tafels verkrijgen door gebruik te maken van de angles and factors uit de Admiralty Tide Tables.

Men beschouwt nu de hoekwaarden als waarden van tafel XXVIII, met inbegrip van de datumcorrectie van tafel XXX, met dit verschil, dat bij de waarden voor $S_2$ 12° en bij de waarden voor $K_1$ 7° moet worden opgeteld. Van de waarden voor $O_1$ moet echter 7° worden afgetrokken. De waarden voor $M_2$ worden ongewijzigd overgenomen. De redenen van deze verschillen werden in par. 4.2 besproken. (De aandacht wordt er op gevestigd, dat vóór 1949 andere waarden werden gegeven).

Men neemt dan als M getij factor × $M_2$ cos (angle + g — 29°.t),
S „ factor × $S_2$ cos (angle + 12° + g — 30°.t),
K „ factor × $K_1$ cos (angle + 7° + g — 15°.t),
O „ factor × $O_1$ cos (angle — 7° + g — 14°.t).

De tijden van hoogwater voor M, S, K en O zijn nu resp.

$$\frac{m}{29^\circ} \times 1^u, \frac{s}{30^\circ} \times 1^u, \frac{k}{15^\circ} \times 1^u \text{ en } \frac{o}{14^\circ} \times 1^u$$

en kunnen in tafel XXXI onder $M_2$, $S_2$, $K_1$ en $O_1$ worden gevonden.

Men behandelt nu M, S, K en O met tafel XXXII als $M_2$, $S_2$, $K_1$ en $O_1$ getij.

### 4.4 Benadering van de tijd van HW bij dubbeldaagse getijden

Bij de bespreking van de dubbeldaagse getijden (zie blz. 66) is gevonden, dat de tijd van hoogwater kan worden benaderd uit

tijd hoogwater = tijd maansmeridiaansdoorgang + gemiddeld havengetal + een correctie voor zonsinvloed.

Voor de Nederlandse kust geeft de Zeemansgids voor de Nederlandse kust de gemiddelde havengetallen van verschillende plaatsen en met het argument maansdoorgang de correctie voor zonsinvloed.

Deze correctie is streng genomen niet voor alle plaatsen op deze kust dezelfde, terwijl tevens ook nog correcties voor declinatie en parallax nodig zijn.

De Zeemansgids geeft echter gemiddelde waarden voor dit gebied, daar de verschillen met die gemiddelden betrekkelijk klein zijn.

Uit de grootte van de correcties blijkt echter, dat een benadering uit tijd maansmeridiaansdoorgang + gemiddeld havengetal een zeer ruwe kan zijn.

### 4.5 Berekening van de tijden van HW en LW met behulp van basisstations (standard ports)

Voor verschillende plaatsen zijn de tijden van hoog- en laagwater, benevens de waterstanden op die tijdstippen, vooruit berekend en verzameld in getijtafels. Voor de Nederlandse kust vindt men deze in de Getijtafels voor Nederland, uitgegeven door de Rijkswaterstaat, terwijl van de buitenlandse tafels hier alleen worden genoemd de Admiralty Tide Tables. Deze laatste geven in „European Waters", Part I, deze waarden voor Europa, de Noordkust en de Noordwestkust van Afrika, in „Atlantic and Indian Oceans", Part I, voor de Atlantische en de Indische Oceaan, en in „Pacific Ocean and Adjacent Seas", Part I, voor de Grote Oceaan.

Voor Indonesië vindt men gegevens van de getijbeweging in de Getijtafels voor de Oost-Indische Archipel, uitgegeven door het Departement van Scheepvaart te Batavia.

De plaatsen, waarvoor de tijden en de waterstanden voor hoogwater en laagwater gegeven worden, worden beschouwd als basisstations of standard ports, waaruit die tijden en standen voor andere plaatsen worden afgeleid.

De Getijtafels voor Nederland van de R.W.S. geven voor de verschillende plaatsen gemiddelde havengetallen en gemiddelde standen van hoogwater en van laagwater t.o.v. N.A.P.. Verder geven zij de ligging van N.A.P. t.o.v. het reductievlak der zeekaarten.

Aangenomen wordt nu, dat het verschil in tijd van hoogwater (laagwater) voor twee plaatsen op de Nederlandse kust gelijk is aan het verschil der gemiddelde havengetallen. Om dus de tijden van hoogwater en laagwater voor een bepaalde plaats te vinden, gaat men uit van het naastbij gelegen basisstation. Bij de gevonden tijden telt men dan op het verschil van de gemiddelde havengetallen van de plaats van waarneming en van het basisstation.

Om de waterstand te bepalen, telt men bij de hoogte van de waterstand van het basisstation op het verschil van de gemiddelde hoog(laag)waterstanden der twee plaatsen.

De Admiralty Tide Tables geven in Part II voor verschillende plaatsen (secondary ports) gegevens voor de getijbeweging.

Voor de plaatsen, vermeld in „Atlantic and Indian Oceans", Part II, en „Pacific Ocean and Adjacent Seas", Part II, staan tevens vermeld amplitude en g van $M_2$, $S_2$, $K_1$ en $O_1$ (met eventueel „shallow-water-corrections").

In de drie delen wordt bij de verschillende plaatsen aangegeven van welke standard port moet worden uitgegaan.

Bij de keuze van deze standard ports is uitgegaan van de volgende overwegingen: Zal tussen de getijbewegingen van twee plaatsen een constant tijdsverschil bestaan in de tijdstippen van hoog- en laagwater, dan moeten de verschillen tussen waarden van g voor de verschillende getijden zich verhouden als de hoeksnelheden der getijden en moeten bovendien de amplituden van de partiële getijden dezelfde onderlinge verhouding hebben.

Zijn dus b.v. voor twee plaatsen A en B de getijconstanten

| | $M_2$ | | $S_2$ | | $K_1$ | | $O_1$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | g | ampl. | g | ampl. | g | ampl. | g | ampl. |
| A | 50° | 60 | 70° | 36 | 100° | 30 | 80° | 20 |
| B | 137° | 40 | 160° | 24 | 145° | 20 | 122° | 13 |

dan vallen voor B de tijden van hoogwater voor elk dier partiële getijden $3^u$ later en zijn alle hoogten t.o.v. middenstand voor B $^2/_3$ van die voor A.

Uit de tijden en standen van A als standard port volgen dan die van B door een correctie van $3^u$ op de tijden (time difference) en een vermenigvuldiging van de hoogten met $\frac{2}{3}$ (ratio).

Daar deze ideale toestand gewoonlijk niet zal bestaan, zijn de standard ports telkens zo gekozen, dat het geven van een tijdsverschil en van een ratio bruikbare waarden verschaft.

Bij sommige plaatsen zijn zelfs verschillende tijdsverschillen gegeven, afhankelijk van de tijden van hoogwater in de standard port. Voor de wijze, waarop daarvan gebruik wordt gemaakt, zij verwezen naar de verklaringen in de Admiralty Tide Tables.

### 4.6 Berekening getijstroom uit stroomconstanten

De getijstromen kan men samengesteld denken uit partiële getijstromen: $M_2$-stroom, $S_2$-stroom, enz.

Zijn voor elk van de partiële stromen bekend g en de maximum snelheid in een gegeven richting, dan kan, op dezelfde wijze als bij verticale getijbeweging de getijhoogten van uur tot uur worden becijferd, de stroomsterkte van uur tot uur worden bepaald. Positieve waarden geven nu stroom in de gegeven richting, negatieve waarden stroom in tegengestelde richting.

In de Zeevaartkundige Tafels vindt men hiervoor een uitgewerkt voorbeeld.

Wanneer de stroom in de loop van een getijperiode ook van richting verandert, wordt de stroom gesplitst in twee componenten, b.v. één met positieve richting Noord, één met positieve richting Oost.

Men berekent nu het totale verloop van de component in de ene richting en dat van de component in de andere richting.

Samenstelling van de stromen N—Z en O—W van uur tot uur geeft dan het totale stroomverloop.

Op dezelfde wijze als getijhoogten volgens de Admiralty Methode werden bepaald, kunnen met deze methode de uren van maximum stroom met de dan heersende stroomsterkten worden gevonden.

(Voor de toepassing wordt verwezen naar Adm. Tide Tables, Part III).

De stroomsterkten van uur tot uur kunnen uit de waarden angle en factor met behulp van de Zeevaartkundige Tafels worden bepaald.

De waarden van b + c voor $S_2$ en $K_1$ moeten dan resp. 12° en 7° groter, en die voor $O_1$ 7° kleiner worden genomen.

De tijden van maximum-stroom in de positieve richting volgen uit $\frac{\text{angle} + g}{n} \times 1^u$, waarbij n voor $M_2$, $S_2$, $K_1$ en $O_1$ resp. 29°, 30°, 15° en 14° wordt genomen, en dus gebruik kan worden gemaakt van tafel XXXI.

### 4.7 Andere getijgegevens

De Zeemansgids voor de Nederlandse kust geeft voor de lichtschepen langs de Nederlandse kust de stromen van uur tot uur met de argumenten tijd van de dag en aantal dagen na volle of na nieuwe maan. Daar het getij hier zuiver dubbeldaags verloopt, komen telkens na 14 à 15 dagen dezelfde stromen voor.

Op de Nederlandse zeekaarten wordt op verschillende punten het stroomverloop gegeven door stroomrozen. Uitgegaan wordt van de tijd van hoogwater of van laagwater van een plaats in de omgeving en door pijlen aangegeven kracht en richting van de stroom voor volle uren vóór en na hoog- of laagwater.

De British Admiralty Charts geven op verschillende punten een teken of letter met verwijzing „See Table of Tidal Streams". Deze „Tables of Tidal Streams" zijn op de kaart afgedrukt en geven voor verschillende tijden vóór of na hoogwater van een daar genoemde plaats, hoe richting en kracht van de stroom in het beschouwde punt zijn.

De Atlas Tidal Streams in British Islands and Adjacent Waters geeft voor volle uren vóór en na hoogwater te Dover de stromen in Noordzee, Engels kanaal en Ierse Zee.

Evenals voor de verticale getijbeweging in getijtafels voor standard ports gegevens worden verstrekt, worden voor verschillende punten van dag tot dag de tijdstippen van maximum stroom en van stil water gegeven.

Stroomtafels, uitgegeven door het Departement van Scheepvaart te Batavia, geven deze waarden voor verschillende punten in de Oost-Indische Archipel. De Admiralty Tide and Tidal Stream Tables geven deze voor plaatsen op verschillende punten van de aarde. Tevens bestaan ook de Current Tables, uitgegeven door U. S. Coast and Geodetic Survey. Deze laatste geven ook voor andere punten de tijdsverschillen van de tijdstippen van maximum stroom en stil water op die plaats en een aangegeven standard port. (In de Amerikaanse tafels aangegeven als reference stations).

De betreffende tafels geven de nodige toelichtingen, zodat deze hier achterwege worden gelaten.

# V. GETIJTAFELS RIJKSWATERSTAAT

## 5.1 Principe [1])

Volgens de evenwichtstheorie is de getijhoogte, als men alleen de werking van de maan beschouwt, $u = \frac{3}{2}\frac{M}{A}\frac{a^4}{d^3}(\cos^2\Theta - \frac{1}{3})$, waarin

$u$ = getijhoogte,
$M$ = massa maan,
$A$ = massa aarde,
$a$ = aardstraal,
$d$ = afstand middelpunt aarde—maan,
$\Theta$ = topsafstand van de maan.

De vorm $(\cos^2\Theta - \frac{1}{3})$ kan herleid worden tot:

$$\frac{1}{6}(3\sin^2 b - 1)(3\sin^2\delta - 1) + \frac{1}{2}\sin 2b \sin 2\delta \cos P + \frac{1}{2}\cos^2 b \cos^2\delta \cos 2P.$$

$b$ = breedte plaats,
$\delta$ = declinatie maan,
$P$ = uurhoek maan.

Neemt men aan, dat de getijhoogte wordt veroorzaakt door maan en zon, dan zou volgens de evenwichtstheorie de getijhoogte worden:

$$u = \frac{1}{4}\frac{M}{A} a^4 (3\sin^2 b - 1)\frac{(3\sin^2\delta - 1)}{d^3} + \frac{3}{4}\frac{M}{A} a^4 \sin 2b \frac{\sin 2\delta \cos P}{d^3} +$$
$$\frac{3}{4}\frac{M}{A} a^4 \cos^2 b \frac{\cos^2\delta \cos 2P}{d^3} + \frac{1}{4}\frac{S}{A} a^4 (3\sin^2 b - 1)\frac{(3\sin 2\delta_1 - 1)}{d_1^3} +$$
$$\frac{3}{4}\frac{S}{A} a^4 \sin 2b \frac{\sin 2\delta_1 \cos P_1}{d_1^3} + \frac{3}{4}\frac{S}{A} a^4 \cos^2 b \frac{\cos^2\delta_1 \cos 2P_1}{d_1^3}.$$

$S$ = massa zon,
$d_1$ = afstand middelpunt aarde—zon,
$\delta_1$ = declinatie zon,
$P_1$ = uurhoek zon.

Noemt men de constante termen b.v.

$$\frac{1}{4}\frac{M}{A} a^4 (3\sin^2 b - 1) = M_0 \quad ; \quad \frac{1}{4}\frac{S}{A} a^4 (3\sin^2 b - 1) = S_0,$$
$$\frac{3}{4}\frac{M}{A} a^4 \sin 2b = M_1 \quad ; \quad \frac{3}{4}\frac{S}{A} a^1 \sin 2b = S_1,$$
$$\frac{3}{4}\frac{M}{A} a^4 \cos^2 b = M_2 \quad ; \quad \frac{3}{4}\frac{S}{A} a^1 \cos^2 b = S_2,$$

---

[1]) Zie Artikel Borgen, blz. 551 en volgende, uit Neumayer's „Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen I."

dan krijgt men:

$$u = \frac{M_0}{d^3}(3\sin^2\delta - 1) + \frac{M_1}{d^3}\sin 2\delta \cos P + \frac{M_2}{d^3}\cos^2\delta \cos 2P +$$

$$\frac{S_0}{d_1^3}(3\sin^2\delta_1 - 1) + \frac{S_1}{d_1^3}\sin 2\delta_1 \cos P_1 + \frac{S_2}{d_1^3}\cos^2\delta_1 \cos 2P_1.$$

Voor de werkelijke getijhoogte, waarbij de phasen der partiële bewegingen van het maans- en zonsgetij resp. $\lambda$, $\mu$, $\lambda_1$ en $\mu_1$ achter zijn op die volgens de evenwichtstheorie, vindt men dan:

$$u = \frac{M_0}{d_3}(3\sin^2\delta - 1) + \frac{M_1}{d_3}\sin 2\delta \cos(P - \lambda) + \frac{M_2}{d^3}\cos^2\delta \cos 2(P - \mu) +$$

$$\underset{(a)}{\frac{S_0}{d_1^3}(3\sin^2\delta_1 - 1)} + \underset{(c)}{\frac{S_1}{d_1^3}\sin 2\delta_1 \cos(P_1 - \lambda_1)} + \underset{(b)}{\frac{S_2}{d_1^3}\cos^2\delta_1 \cos 2(P_1 - \mu_1)}. \quad (5.1a)$$

(*a*) De termen met $M_0$ en $S_0$ zullen buiten beschouwing blijven. Zij zijn aanleiding tot de Mf, Mm, Sa en Ssa getijden.

(*b*) Van de overige termen zal de dubbeldaagse groep in Nederland de sterkste zijn, zodat deze groep eerst zal worden beschouwd.

Noemt men:

$$\frac{M_2}{d^3}\cos^2\delta \cos 2(P - \mu) + \frac{S_2}{d_1^3}\cos^2\delta_1 \cos 2(P_1 - \mu_1) = H \cos 2(P - \mu - \varphi), \quad (5.1b)$$

waarin H de amplitude van het gecombineerde getij en $\varphi$ de wijziging in phase van het maansgetij voorstelt door de zonsinvloed, dan kan afgeleid worden, dat:

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{-\frac{S_2}{d_1^3}\cos^2\delta_1 \sin 2(P_1 - P - \mu_1 + \mu)}{\frac{M_2}{d^3}\cos^2\delta + \frac{S_2}{d_1^3}\cos^2\delta_1 \cos 2(P_1 - P - \mu_1 + \mu)} \quad \text{en} \quad (5.1c)$$

$$H = \sqrt{\left(\frac{M_2}{d^3}\cos^2\delta\right)^2 + \left(\frac{S_2}{d_1^3}\cos^2\delta_1\right)^2 + \frac{2M_2}{d^3}\cos^2\delta \frac{S_2}{d_1^3}\cos^2\delta_1 \cos 2(P_1 - P - \mu_1 + \mu)}. \quad (5.1d)$$

De waarde $P_1 - P$, het verschil in uurhoeken tussen zon en maan, wisselt in een halve maand van 0° tot 180°, zodat uit formules (5.1c) en (5.1d) volgt, dat zowel H als $\varphi$ een halfmaandelijkse periode hebben.

$\varphi$ stelt voor de *halfmaandelijkse ongelijkheid in tijd*, terwijl de afwijking van H van de middelwaarde $H_0$ de *halfmaandelijkse ongelijkheid in hoogte* $\Delta$ H aangeeft.

Volgens (5.1b) is het HW als $2(P - \mu - \varphi) = 0°$ of 360°, dus als $P = \mu + \varphi$ of $\mu + \varphi + 180°$.

Bij maansbovendoorgang is P = 0°, bij benedendoorgang 180°. Is $P_1 - P = T$, dan is bij maansbovendoorgang (P = 0°) $P_1 = T$, bij maansbenedendoorgang $P_1 = T + 180°$, of in tijd $T + 12^u$. Telt men de ware zonnetijd van $0^u$ tot $12^u$, dan is $P_1$ = ware zonnetijd bij maansmeridiaansdoorgang, die zowel boven- als benedendoorgang kan zijn.

Neemt men nu aan, dat voor het tijdsverloop van ½ dag $P_1 - P = T$ blijft,

m.a.w. neemt men aan, dat de hoeksnelheden van zon en maan voor dat tijdsverloop gelijk zijn, dan is bij HW, waarbij $P = \mu + \varphi$, $P_1 = T + \mu + \varphi$. **(5.1e)**

Daar $P_1$ ware zonnetijd voorstelt, is dus:
Ware tijd van HW $= P_1 = T + \mu + \varphi =$ tijdstip van maansdoorgang + *maansverloop* ($\mu + \varphi$ noemt men *maansverloop*).

Uit de formules (5.1c) en (5.1d) ziet men, dat $\varphi$ en H niet alleen functies zijn van $P_1 - P$, maar ook van $\delta$, $\delta_1$, d en $d_1$, m.a.w. van *declinatie* en *parallax*.

Daar de veranderingen in $\varphi$ en H door wijzigingen in de declinatie en parallax niet zeer groot zijn, kan men ze toevoegen als correcties aan een middelwaarde P en H om de juiste tijd en hoogte van HW te vinden. Voor LW geldt eenzelfde redenering.

(*c*) De vorm $\frac{M_1}{d^3} \sin 2\delta \cos (P - \lambda) + \frac{S_1}{d_1{}^3} \sin 2\delta_1 \cos (P_1 - \lambda_1)$ vormt de enkeldaagse groep. Zijn invloed is op onze kusten gering. De afwijkingen in tijd en hoogte van het dubbeldaags getij onder invloed van het enkeldaags getij noemt men *dagelijkse ongelijkheid* in *tijd* en *hoogte*.

Resumerende kan men de volgende formule opstellen:

*Tijd van HW = tijd van maansdoorgang + maansverloop + correctie voor declinatie + correctie voor parallax + dagelijkse ongelijkheid.* **(5.1f)**

*Hoogte HW* $= A_0$[1] $+ H_0 + \Delta H$ *+ correctie voor declinatie + correctie voor parallax + dagelijkse ongelijkheid.* **(5.1g)**

Voor LW geldt een analoge formule.

Om nu tijd en hoogte van HW en LW te voorspellen, moet men beschikken over de gegevens, genoemd sub (5.1f) en (5.1g). Deze worden verkregen uit het waarnemingsmateriaal. Hiertoe heeft men over een periode van meerdere jaren tijden en hoogten van HW en LW verzameld met behulp van registrerende peilschalen.

Uit het waarnemingsmateriaal noteert men de verschillen tussen de tijden van maansculminatie en het daarop volgend HW, m.a.w. men bepaalt de waarden $P_1 - T$ (zie (5.1e)) en vindt zo de waarden $\mu + \varphi$, dus de *maansverlopen*.

Sommeert men de waarden $\mu + \varphi$ en deelt men deze som door het aantal waarnemingen n, dan krijgt men $\frac{\Sigma(\mu + \varphi)}{n}$, gevende de waarde van $\mu$, daar $\varphi$ een periodieke waarde is, waardoor $\Sigma\, \varphi$ gelijk is aan nul.

De waarde $\mu$ is een constante voor een bepaalde plaats en wordt het *gemiddelde havengetal* genoemd.

Op dezelfde wijze wordt het gemiddelde genomen van alle waargenomen hoogten en krijgt men voor HW de waarde $A_0 + H_0$, voor LW de waarde $A_0 - H_0$, het gemiddelde van beide geeft $A_0$.

Om de *halfmaandelijkse ongelijkheid* te verkrijgen, middelt men de maansverlopen en hoogten, behorende bij maansdoorgangstijden 0h, 0h10, 0h20, etc. (immers $\varphi$ is een functie van $P_1 - P$).

Men verkrijgt dan een aantal gemiddelde waarden, waarvan de afwijking van het gemiddelde havengetal en van de gemiddelde hoogte $A_0 + H_0$, c.q. $A_0 - H_0$, respectievelijk de gemiddelde halfmaandelijkse ongelijkheid in tijd en in hoogte aangeven, behorende bij een bepaalde maansdoorgangstijd (een bepaalde waarde $P_1 - P$).

[1]) De notatie $A_0$ is hier gebruikt ter aanduiding van de hoogte halftijvlak.

De halfmaandelijkse ongelijkheid in tijd is 0 en in hoogte een maximum als $P_1 - P - \mu_1 + \mu = 0°$ of 180° volgens formules (5.1c) en (5.1d): $P_1 - P = 0°$ bij nieuwe en 180° bij volle maan. De halfmaandelijkse ongelijkheid verdwijnt op deze tijdstippen dus niet en het is geen springtij bij deze phasen, maar een bepaalde tijd later als $P_1 - P - \mu_1 + \mu = 0°$ of 180°. Het tijdsverloop tussen

$$P_1 - P = 0 \text{ en } P_1 - P - \mu_1 + \mu = 0$$

noemt men de *leeftijd* (± 2 dagen op onze kusten).

Men heeft nu gevonden de halfmaandelijkse ongelijkheid in tijd en gemiddeld havengetal, die te zamen het maansverloop vormen en tevens de waarde $\Delta$ H, behorende bij een bepaalde maansdoorgangstijd.

Wil men voor een bepaalde dag HW en LW voorspellen, dan zoekt men in een tafel op tijd van maansdoorgang en past hierop toe het maansverloop en vindt zo de tijd van HW. Evenzo past men op de gevonden middelwaarde $H_0$ de correctie $\Delta$ H, behorende bij de maansdoorgang en vindt men $H_0 + \Delta H = H$.

Om de kleine correcties voor *maansdeclinatie* en *parallax* te vinden, kan men als volgt te werk gaan.

Uit de waarnemingen gevonden maansverlopen en hoogten voor HW worden door toepassing der gevonden waarden $\varphi$ en $\Delta$ H teruggebracht tot middelwaarden, die aangedaan zijn door declinatie- en parallaxinvloeden.

Groepeert men nu deze middelwaarden in groepen van declinatie 0°—6°, 6°—12°, 12°—18°, 18°—24° en boven 24°, afgezien van het teken der declinatie (in de formules (5.1c) en (5.1d) komen alleen kwadraten van cos $\delta$ voor), dan geven de afwijkingen t.o.v. de middelwaarden $\mu$ en $H_0$ de afwijkingen tengevolge van de declinatie. Deze afwijkingen kunnen in een tabel worden verenigd.

Op analoge wijze kan men een parallaxcorrectie — de invloed van de wisselende waarde d — bepalen en eventueel ook — correcties voor zonsdeclinatie en parallax — de invloeden van $\delta_1$ en $d_1$.

Gewezen wordt op het feit, dat als men op de hierboven aangegeven wijze te werk gaat, men de waargenomen maansverlopen en hoogten moet combineren met die declinaties en parallaxen, behorende bij maansculminaties, die een tijdsinterval — leeftijd van het getij — eerder vallen (zie formules (5.1c) en (5.1d)).

Om de correctie voor *dagelijkse ongelijkheid* te vinden, bepaalt men, nadat men de waargenomen maansverlopen en hoogten voor halfmaandelijkse ongelijkheid en kleine correcties voor declinatie en parallax gecorrigeerd heeft, de verschillen tussen getijhoogten en maansverlopen van de HW's van ochtend- en middagtij en evenzo de verschillen tussen middagtij en het morgentij op de volgende dag en geeft de laatste verschillen tegengesteld teken.

Uit deze verschillen kunnen groepen gevormd worden, die functies zijn van de declinaties — 3° tot + 3°, ± 3 tot ± 6°, ± 6° tot ± 9°, enz. (Nlijke en Slijke declinatie gescheiden (zie sin 2$\delta$ sub (c)), en van iedere groep het gemiddelde bepaald. Deze gemiddelden geven dan de dubbele dagelijkse ongelijkheid in tijd en hoogte voor het gemiddelde der betreffende declinaties.

De leeftijd van het enkeldaagse getij is op onze kusten groter dan bij het dubbeldaagse getij en bedraagt 6 à 7 dagen. De uit het waarnemingsmateriaal gevonden dagelijkse ongelijkheden moeten dus gecombineerd worden met declinaties, vallende de leeftijd van het getij vroeger.

De leeftijd is, behalve uit de getijconstanten, te vinden uit het waarnemingsmateriaal, waarbij dan nagegaan wordt het tijdsverloop tussen het tijdstip van 0° declinatie en het moment, dat de dagelijkse ongelijkheid verdwenen is.

Om de dagelijkse ongelijkheid bij LW te bepalen, geldt een analoge werkwijze.

Aangegeven is nu, hoe de voornaamste waarden voor formules (5.1f) en (5.1g) kunnen worden gevonden.

Het maansverloop bij maansculminatie $0^u$ noemt men het *havengetal.*

**5.2 Uitvoering**

De wijze van berekening der Getijtafels voor Nederland is een gewijzigde methode Lubbock, waarvan het principe in de vorige paragraaf werd uiteengezet. Door de hoofdingenieur van de R.W.S. H. E. de Bruyn werd genoemde methode veranderd en nader uitgewerkt door de ingenieur van de R.W.S. F. L. Ortt en de ingenieur van de R.W.S. L. C. Ramaer.

*a) Tijd van HW.*

De tijd van HW wordt voor de voorspelling der getijtafels verkregen uit de volgende formule:

*Tijd van HW = Tijd van culminatie + maansverloop + correctie parallax.*

Vergelijkt men deze formule met de gevonden formule (5.1f), dan mist men de *declinatiecorrectie* en de *correctie dagelijkse ongelijkheid.*

Deze correcties zijn echter niet genegeerd, maar zijn geacht opgenomen te zijn in het maansverloop. Om dit te verklaren dient het volgende:

*De gegevens voor de voorspelling voor een bepaalde maand worden gehaald uit waarnemingen van het getij van die maand van voorgaande jaren.*

In de eerste plaats is bij deze werkwijze de invloed der *zonsdeclinatie* en *parallax* in rekening gebracht, die voor een bepaalde maand van het jaar, ongeveer dezelfde waarden hebben (zie wisselende waarden $\delta_1$ en $d_1$ van formule (5.1c) en (5.1d)), terwijl men in de tweede plaats bij benadering kan zeggen, dat de *maansdeclinatie* eenzelfde waarde heeft bij een bepaalde tijd *van maansculminatie* in eenzelfde maand van verschillende jaren. Zo vindt men bij het naslaan van de Nautical Almanac over de jaren 1944 t/m 1947 voor de maand September bij maansbovendoorgang 12h de volgende maansdeclinaties:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1944 | 17 | Sept. | maansdeclinatie | 6° | N. |
| 1945 | 6 | „ | „ | 11° | „ |
| 1946 | 25 | „ | „ | 3° | „ |
| 1947 | 14 | „ | „ | 9°,5 | „ |

Men ziet, dat bovenstaande aanname vrij grof is. Daar voor een bepaalde maansdoorgangstijd in een gegeven maand de onderlinge stand van zon en maan elk jaar dezelfde is, zal voor die doorgangstijd in die maand de maansdeclinatie ruwweg dezelfde zijn. B.v. maansdoorgangstijd $18^u$ op 21 Maart geeft E.K., waarbij RK = $6^u$ en declinatie ongeveer 23°,5; maansdoorgangstijd $18^u$ op 21 Juni geeft E.K. met RK = $12^u$ en declinatie ongeveer 0°.

*Maansverloop.* In afwijking met het vermelde in 5.1, heeft R.W.S. bepaald de verschillen per maand van tijden van maansdoorgang en tijden van HW van 2 etmalen later en heeft men dus bij het bepalen der maansverlopen de leeftijd in rekening gebracht.

Genoemde maansverlopen zijn b.v. voor Brouwershaven bepaald over de jaren 1885—1894, waarbij opgemerkt wordt, dat in 1885 de maan haar kleinste maximum declinatie en in 1894 haar grootste maximum declinatie verkreeg.

Uit deze gegevens werd een tafel samengesteld met 2 ingangen, nl. tijdstip van maansdoorgang en maand van het jaar.

*Parallax correctie.* Om de invloed van de parallax te bepalen uit de waarnemingen, zijn door R.W.S. de maansmaanden ingedeeld naar het verschil in tijd tussen het tijdstip van maansperigeum en dat van VM en NM. Naar gelang van dat verschil wordt de maansmaand door een letter gekenmerkt.

De maansmaand met letter A geldt voor een maansmaand, waarin het maansperigeum valt van 0 tot ½ dag na NM, bij B is dat verschil ½ tot 1½ dag, enz.

Voor elk te berekenen primair station (zie later) is een tafel samengesteld voor HW en één voor LW, waarin bij elke letter voor de verschillende opvolgende HW's c.q. LW's van de maansmaanden, te beginnen met NM, is aangegeven het bedrag van de parallaxcorrectie.

*b*) *Hoogte van HW.*

De hoogte van HW wordt verkregen uit de volgende formule:

*Hoogte HW = gecorrigeerde hoogte halftij + halve gemiddelde verval + correctie halfmaandelijkse ongelijkheid + correctie parallax + correctie dagelijkse ongelijkheid*, terwijl:

*Gecorrigeerde hoogte halftij = voorlopige waarde halftij + correctie verval + parallax correctie.*

Vergelijkt men bovenstaande formule voor hoogte HW met formule (5.1g), dan mist men de correctie voor de declinatie. Deze is geacht opgenomen te zijn in de correctie halfmaandelijkse ongelijkheid.

*Gecorrigeerde hoogte halftij.*

1) *De voorlopige waarde halftij* wordt ontleend aan een tafel, waarin dag voor dag van het jaar de hoogte van halftij is opgenomen voor een bepaalde plaats, bijv. Brouwershaven. Halftij vertoont in de loop van het jaar een golfbeweging om de gemiddelde waarde.
2) *De correctie verval* wordt ontleend aan een tafel, welke voor alle bedragen van het verval aangeeft de correctie, aan te brengen op de gemiddelde waarde van halftij.
3) *Parallaxcorrectie* wordt ontleend aan een tafel, waarin te beginnen met tijdstip van maansperigeum voor de opvolgende HW's is aangegeven de aan te brengen correctie.

*Halve gemiddelde verval.*

Uit de algemeen gemiddelde waarde van een 18,6 jarig tijdperk wordt met behulp van een periodische formule afgeleid het jaarlijks gemiddelde voor het jaar, waarvoor berekend wordt. Deze formule luidt voor Brouwershaven:

$$\text{Verval in mm} = 2403 + 43{,}5 \cos (n \times 19°{,}34) + 14{,}9 \sin (n \times 60° - 75°),$$

waarbij n voorstelt het aantal jaren, dat verlopen is tussen het te voorspellen jaar en 1885. 2403 mm is het normaal gemiddelde verval te Brouwershaven, ter-

wijl 19°,34 in verband staat met 18,6 jaar, waarin de lengte van de klimmende knoop verandert van 0° tot 360° (19°,34 × 18,6 = 360°). Afleiding der formule zal niet worden gegeven.

In verband met een geconstateerde gemiddelde maandelijkse afwijking van het jaargemiddelde, werden berekend de gemiddelde waarden van het verval in de opvolgende 10-daagse tijdvakken van het jaar. Aan deze staat wordt ontleend de waarde voor het halve gemiddelde verval.

De *halfmaandelijkse ongelijkheid* wordt ontleend aan een tafel, met 2 ingangen, nl. tijdstip van maansouderdom te Gr., opklimmend met 20 min., en tijd van het jaar, opklimmend met 10 dagen.

De correctie voor de *parallax* wordt ontleend aan een tafel, die op gelijke wijze is ingericht, als aangegeven sub *a*).

De correctie voor de *dagelijkse ongelijkheid*, zijnde de helft van het verschil tussen de hoogte van een HW en het gemiddelde van het voorafgaand en volgend HW werd uit de waarnemingen berekend voor verschillende tijden van maansdoorgang.

Hieruit werd een tafel samengesteld met 2 ingangen, nl. tijdstip van maansdoorgang, opklimmend met 10 min. en de maand van het jaar.

Voor berekening van tijd en hoogte van LW geldt een analoge berekening, met dien verstande, dat de hoogte LW wordt verkregen door van de hoogte halftij het halve verval af te trekken.

*Getijtafelstations.*

De getijtafelstations zijn te verdelen in:

1e. *Primaire* stations, nl. Brouwershaven, IJmuiden, Delfzijl en Hansweerd (gedeeltelijk).

2e. De *secundaire* stations.

3e. De *tertiaire* stations.

Voor de *primaire* stations worden de tijden en hoogten van HW en LW berekend op de wijze als hierboven aangegeven, behalve voor Hansweerd, waarvoor alleen de tijd van LW direct berekend wordt. De tijd van LW van Brouwershaven bleek minder geschikt voor de afleiding van tijd van LW der secundaire stations, zodat hiervoor Hansweerd werd genomen.

De *secundaire* stations, als Harlingen, Den Helder, Scheveningen, Hoek van Holland, Rotterdam, Hellevoetsluis, Dordrecht, Willemstad, Zierikzee, Wemeldinge, Vlissingen, Neuzen en ten dele Hansweerd werden berekend uit de primaire stations, waarbij verschilstaten van tijdstip en hoogte van HW en LW met de primaire stations werden opgemaakt over enige jaren.

Hieruit werden tafels samengesteld met 2 ingangen, nl. maansouderdom van het te berekenen getij en maand van het jaar. Op de nu gevonden waarden van HW en LW wordt nog een parallax correctie toegepast, die ontleend wordt aan een tafel, waarin te beginnen met tijdstip van maansperigeum voor de opvolgende HW's, c.q. LW's de aan te brengen correctie is aangegeven.

De *tertiaire* stations, b.v. Breskens, Hedel, Gorinchem, geven alleen de tijd van HW. Ze worden afgeleid uit de primaire en secundaire stations, waarbij het verschil in havengetal wordt toegepast.

# VI. REDUCTIEVLAK EN AANVERWANTE ONDERWERPEN

## 6.1 Vergelijkingsvlak

Alle metingen, zowel in het horizontale als in het verticale vlak verricht, worden uitgedrukt t.o.v. één bepaald vlak, dat als nulvlak wordt aangenomen. Het nulvlak waartoe verticale metingen, hetzij hoogten van terreinvoorwerpen dan wel diepten der zeeën, worden teruggebracht, heet het *vergelijkingsvlak.*

Teneinde gevolgtrekkingen te kunnen maken betreffende verandering in het niveauverschil van de zee en het land, is het nodig, dat alle vergelijkingsvlakken worden aangegeven t.o.v. een zo nauwkeurig mogelijk bepaald zeeniveau (men gebruikt hiervoor het middenstandsvlak; zie par. 6.2) en t.o.v. een vast punt aan de wal, dat *verkenmerk* genoemd wordt. Alleen door nauwkeurig aantekening te houden van het vergelijkingsvlak kan aan een opneming blijvende waarde worden toegekend.

## 6.2 Middenstand en halftij

Het vlak, dat de zeeën der wereld zouden innemen, indien er geen getijkrachten werkten, noemt men middenstandsvlak of kortweg *middenstand.* De vorm, welke deze oppervlakte zou aannemen, wordt buiten beschouwing gelaten. Volstaan kan worden met te zeggen, dat deze vorm niet gelijk is aan die van de geoïde (waarbij elk deel van de oppervlakte loodrecht staat op het schietlood), aangezien afwijkingen van de gemiddelde barometerstand, van de gemiddelde temperatuur, benevens heersende winden, zouden blijven bestaan en de waterstanden zouden beïnvloeden. Teneinde het middenstandsvlak te bepalen, dient het getij te worden geëlimineerd. Dit kan bereikt worden door met gelijke korte tijdsintervallen de waargenomen waterstanden te middelen.

Opgemerkt wordt, dat het halftijvlak (gemiddelde van hoog- en laagwaterstanden) niet hetzelfde is als het middenstandsvlak [1]). Eerstgenoemd vlak kan aangedaan zijn door nevengetijden, die een periode hebben van twee- of viermaal die der hoofdgetijden $M_2$ en $S_2$.

De dagelijkse waarden van de middenstand zijn niet constant. Zij vertonen grote onregelmatige verschillen, in hoofdzaak als gevolg van meteorologische invloeden. Benadert men de middenstanden per maand en vergelijkt men deze met de middenstand verkregen over het gehele jaar, dan zullen de verschillen veel geringer zijn en, althans tot op zekere hoogte, regelmatig. De overblijvende onregelmatigheden, welke nog enkele decimeters met het jaargemiddelde kunnen verschillen, zijn vermoedelijk het gevolg van meteorologische omstandigheden. Benadert men de maandelijkse waarden van enige achtereenvolgende jaren en vergelijkt men deze met het gemiddelde over de gehele periode, dan worden de invloeden van onregelmatige meteorologische veranderingen geëlimineerd. Bij analyse blijken de

---

[1]) In Nederland is het halftij bij IJmuiden en Zuidelijker gelegen havens 8 à 10 cm hoger en voor Noordelijker gelegen plaatsen 8 à 18 cm lager dan de middenstand, welke in de Nederlandse zeegaten en in de Waddenzee 1 à 2 dm onder N.A.P. ligt (zie par. 6.3).

Voorts zij opgemerkt:

Middenstand heet bij R.W.S.: gemiddelde zeestand of gemiddelde waterstand.

verschillen co-periodiek te zijn met de jaarlijkse en halfjaarlijkse partiële getijden $S_a$ en $S_{sa}$.

Vergelijkt men de jaarlijks verkregen waarden der middenstanden, dan ziet men kleine verschillen, waarbij dit niveau vermoedelijk onderhevig is aan langperiodieke schommelingen; langdurige getijwaarnemingen te Marseille en Brest hebben inderdaad kleine schommelingen met perioden van $18\frac{2}{3}$ jaar en 93 jaar in deze waarden aan het licht gebracht; om verschillende redenen kan het bestaan van deze schommelingen nog niet als voldoende bewezen geacht worden, maar, indien zij bestaan, kunnen zij in verband gebracht worden met de veranderlijkheid van de vorm van de maansbaan t.o.v. de aarde.

Het verschil tussen het middenstandsvlak en een bepaald horizontaal vlak is niet overal gelijk en kan reeds afwijkingen vertonen op plaatsen, welke dicht bij elkaar liggen. Men kan zich dit *middenstandsverhang* indenken als te ontstaan, doordat het water, dat bij afwezigheid van getijwerking in een diepe zee een bepaalde middenstand heeft, bij het naderen van de kust als gevolg van de overheersende windrichtingen, het beloop van de kust, de voortplantingsrichting der getijgolven, opperwater afvoer e.d., wordt opgestuwd, zodat de middenstand omhoog gedrukt wordt. Dit vraagstuk maakt nog een onderwerp van studie uit en meerdere gegevens hieromtrent zijn te vinden in de bescheiden op de Afdeling Hydrografie van het Ministerie van Marine.

Het middenstandsverhang is vooral merkbaar op binnenwateren. Zo liggen de middenstanden te Antwerpen en te Dordrecht ruim 3 dm hoger dan die van resp. Westkapelle en Hoek van Holland.

Hieruit blijkt dat het middenstandsvlak op zichzelf niet geschikt is voor vergelijkingsvlak, zodat overbrenging naar een vast punt op de wal noodzakelijk is; voorts mogen geen gevolgtrekkingen gemaakt worden betreffende rijzing of daling van het land door vergelijk van het middenstandsvlak met een vast punt op het land, alvorens één en ander uit zeer langdurige waarnemingen is gebleken.

Voor enkele gebruikelijke notaties, zie par. 6.6.

## 6.3 Topografische vergelijkingsvlakken van Nederland, Indonesië, Suriname en de Ned. Antillen

*a. Nederland.* Reeds eeuwen geleden had men behoefte aan het bepalen van hoogteverschillen tussen punten in beperkte gebieden. Hiervoor is nodig een bepaald genivelleerd vergelijkingsvlak. Zo ontstonden talrijke plaatselijke peilen (b.v. Amsterdams Peil, Winschoter Peil, Rotte Peil, Fries Zomerpeil), waarvan het Amsterdams Peil (A.P.) het meest verspreid is. In een aflevering van „De Ingenieur" (jaargang 1934 n°. 39) staat de geschiedenis van dit nivelleringsvlak omstandig beschreven. In het kort wordt hieromtrent het volgende vermeld.

Op een „Caarte van het IJe" staat voor het eerst vermeld, dat de diepten „gepeijlt" in 1674 zijn uitgedrukt t.o.v. „de Stadts Peilsteen, sijnde een Blaeuwe Steen, die in de muur van de Nieuwe Haarlemmer Sluys aan de oostzijde achter de buytendeur getekent is met S.P.".

Deze steen is niet meer aanwezig.

In 1703 werd voor het eerst een definitie van deze uitdrukking gegeven, n.l. „daaglijkx zomervloet of Stadts Peil".

Het verschil tussen hoog- en laagwater was toentertijd, toen het Buiten-IJ nog

open was, te Amsterdam niet meer dan 32 cm. Er werden in 1681—1683, waarschijnlijk met behulp van Christiaan Huygens met het door hem uitgevonden waterpastoestel, bij verschillende sluizen merkstenen aangebracht, welke met een groef aangaven: „Zeedijks Hooghte, zijnde negen voet vijf duym boven Stadtspeijl". Het A.P. lag dus 2,67689 m beneden deze groeven.

Van al deze merken zijn de dijkspeilstenen in de Eenhoornsluis, Nieuwebrugsluis en Kraansluis nog aanwezig. Zij werden vastgelegd t.o.v. het nulpunt van de peilschaal aan de Schreierstoren en t.o.v. het Waterkantoor aan de Nieuwmarkt, welk kantoor echter in 1861 werd afgebroken.

Van 1797 tot 1812 werden door generaal Krayenhoff uitgebreide waterpassingen langs de grote rivieren uitgevoerd, die werden aangesloten aan het A.P. Dit is eigenlijk de eerste systematische waterpassing van een geheel land. Voor de aanleg van spoorwegen was het omstreeks 1860 zelfs tot in Nassau, Oost- en West-Pruisen, Westfalen en Luxemburg overgebracht.

Op de „Konferenz der europäischen Gradmessung" in 1867 te Berlijn gehouden, werden eisen voor primaire waterpassingen samengesteld. Hierop werd in Duitsland een uitgebreid net gewaterpast met als vergelijkingsvlak het A.P., dat, zoals reeds vermeld, reeds veelvuldig werd gebruikt. Op het verzoek van de Pruisische regering in 1874 aan de onze gericht om een lijn van Salzbergen tot Amsterdam te mogen waterpassen, teneinde haar waterpassing aan het A.P. aan te sluiten, werd de waterpassing op Nederlands gebied zelf ter hand genomen. Hieruit werd de eerste Nederlandse nauwkeurigheidswaterpassing geboren, die van 1875 tot 1885 werd verricht. De Nederlandse en Duitse netten werden op verscheidene plaatsen aangesloten, terwijl tevens het Belgische Ostende peil op enkele plaatsen werd verbonden aan het Nederlandse primaire hoogtenet. In Pruisen gaf men het A.P. de naam Normal Null (N.N.), dat thans in geheel Duitsland wordt gebruikt.

Ook in Nederland heeft men na deze eerste nauwkeurigheidswaterpassing een kleine wijziging aangebracht in de naam A.P. Uit de vijf in 1875 aanwezige dijkspeilstenen werd de gemiddelde hoogte der horizontale groeven bepaald. Het A.P. werd aangenomen te liggen op 2,67689 m beneden dat gemiddelde. Aan het oude Amsterdams Peil is dus niets veranderd. Bij deze nauwkeurigheidswaterpassing bleek echter, dat bij de overbrenging van het oude A.P. fouten waren gemaakt. Correctie van alle bekende hoogten was technisch niet goed mogelijk (dit liep over te veel verschillende diensten). Hoogten bij deze nauwkeurigheidswaterpassing gevonden, werden dus opgegeven t.o.v. *N.A.P.*, *Normaal Amsterdams Peil.*

Het peil is dus niet veranderd; de aanduiding A.P. heeft alleen betrekking op waterpassingen, verricht vóór 1875, N.A.P. op de waterpassingen na 1875.

Een tweede nauwkeurigheidswaterpassing vond plaats van 1926 tot 1940, waarbij wederom een verschil blijkt te bestaan tussen de oude en nieuwe hoogtecijfers.

De uitkomsten van deze waterpassing zijn door de Rijkswaterstaat gepubliceerd in elf, naar de provincies ingedeelde, registers, elk bestaande uit 2 delen.

Het N.A.P. vlak is het vergelijkingsvlak voor hoogten van terreinvoorwerpen e.d., dat in Nederland door Rijkswaterstaat en de Topografische Dienst gebruikt wordt.

*b. Indonesië.* Voor belangrijke technische werken zijn afzonderlijke waterpassingen uitgevoerd, die elk meestal berusten op eigen peil, waarvan de relatieve ligging der punten niet nauwkeurig bekend is. Deze nulpunten variëren tussen gemiddeld laagwaterspringtij en hoogste waterstand. Het heeft geen nut hierop

verder in te gaan, doch men zij erop bedacht bij het bestuderen van dergelijke kaarten, hetzij voor de kustlijn dan wel voor hoogten van terreinvoorwerpen e.d., nauwkeurig te letten op het gebruikte vergelijkingsvlak. Door de Topografische Dienst wordt als regel als vergelijkingsvlak gebruikt de middenstand, welke echter — vooral bij opnemingen van oudere datum — niet altijd even nauwkeurig bepaald is.

Opgemerkt zij nog, dat op een vergadering, bijeengeroepen voor de coördinatie van het meet- en kaarteerwezen in Indonesië in 1947 de wenselijkheid is uitgesproken, dat per eiland op de duur wordt beschikt over één peil, zijnde de gemiddelde laagwaterstand en dat, voor zover dit mogelijk is, de peilen der eilanden d.m.v. waterpassing worden verbonden. Met het oog op de belangen der wetenschap zal voorts de wenselijkheid beoordeeld worden van de verbinding der eilandpeilen, voor zover deze niet d.m.v. waterpassing tot stand is te brengen.

c. *Suriname en de Ned. Antillen.* Op de topografische kaart van Curaçao staat aangegeven, dat de hoogtepunten worden gegeven boven zee. Aangezien de verticale waterbeweging hier slechts zeer gering is, kan men hiervoor aannemen de middenstand.

Op een topografische kaart van Paramaribo (Suriname) is als vergelijkingsvlak aangenomen het vlak, gaande door het punt der peilschaal te Beekhuizen, hetwelk de laagst bekende waterstand heeft aangegeven tijdens de waarnemingen gedaan in de jaren 1904 t/m 1909. De hardstenen plint in het bovenvlak der sluis in de Knuffelsgracht, gemerkt S.P., ligt 3,50 m en de ster stenen trap op 4,03 m boven dat punt.

### 6.4 Topografische vergelijkingsvlakken van aangrenzende landen

a. *Duitsland.* Zoals reeds in par. 6.3 vermeld, is het vergelijkingsvlak de Normal Null (N.N.). Dit vlak ligt 0,016 m boven N.A.P..

b. *België.* In België zijn in de 19e eeuw drie primaire waterpassingen uitgevoerd, waarbij telkenmale van een ander vergelijkingsvlak werd uitgegaan.

(1) Nivellements des Ponts et Chaussées. Deze werden uitgevoerd door de Dienst van Bruggen en Wegen. Als vergelijkingsvlak werd gekozen het vlak van gemiddeld laagwaterstroomtij te Ostende (moyenne des basses mers de vive eau), afgeleid uit waarnemingen aan de in de sluis van het Bassin de Commerce te Ostende aanwezige peilschaal. Het vergelijkingsvlak „zéro des Ponts et Chaussées" ligt 1,4778 m boven de bovenkant van de slagdrempel van de sluis in genoemd bassin.

(2) Nivellements du Dépôt de la Guerre. Het vergelijkingsvlak komt overeen met het gemiddelde laagwaterspringtij over de jaren 1 Maart 1834—31 Augustus 1853 aan voornoemd bassin, d.w.z. de aflezing 1,6465 aan de peilschaal, waarvan het nulpunt samenvalt met de slagdrempelhoogte van de sluis. Dit vlak wordt ook wel aangeduid als Oud-Ostendepeil.

(3) Nauwkeurigheidswaterpassing van het Koninkrijk.
Deze werd uitgevoerd van 1887 tot 1892. Als vergelijkingsvlak diende de middenstand te Ostende, welke overeenkwam met de aanwijzing 3,6585 m op de vaste peilschaal in het Bassin de Commerce te Ostende, zodat het nulpunt van deze nauwkeurigheidswaterpassing 2,012 m boven dat van het Dépôt de la Guerre

ligt. Voor het verschil met N.A.P. wordt volgens de nieuwste gegevens van de Nederlandse nauwkeurigheidswaterpassing van 1940 te Maeseijck 0,311 m, te Visé 0,289 m en in Zeeuws Vlaanderen 0,290 m gevonden.

Er bestaat in België dringend behoefte aan een nieuwe nauwkeurigheidswaterpassing, die bovendien van grote betekenis zou zijn voor de studie van de bodemdaling in West-Europa.

*c.* Na nauwkeurige bestudering van alle ter beschikking staande gegevens van de onderscheidene waterpassingen, welke in Nederland en in de aangrenzende landen in de loop der jaren hebben plaats gehad, wordt voor het werk, verricht door de Afdeling Hydrografie van het Ministerie van Marine, uitgegaan van de volgende waarden:

| | | |
|---|---|---|
| Normal Null . . . . . . . . . . . | NN | NAP + 0,016 m |
| Normaal Amsterdams Peil . . . . . | NAP | |
| Zéro du Dépôt de la Guerre . . . . | ODG | NAP — 2,40 m |
| Zéro des Ponts et Chaussées . . . . | Z | NAP — 2,57 m |

### 6.5 Topografische vergelijkingsvlakken Engeland en Frankrijk

In Engeland en Schotland wordt door de Ordnance Survey (Top. Dienst V.K.) gebruik gemaakt van het middenstandsvlak te Newlyn, berekend uit getijwaarnemingen verricht in de jaren 1915—1921. Dit vlak is overgebracht naar verkenmerken in de buurt van de peilschaal. Voor overbrenging van dit vlak naar andere plaatsen is gebruik gemaakt van een nauwkeurigheids-waterpassing, welke in 1912 werd aangevangen.

In Frankrijk gebruikt men het „Zéro Bourdaloue", ook wel genoemd „Zéro du nivellement général de la France (ONGF)".

### 6.6 Reductievlak

De zeeman geeft, met het oog op veilig varen, de voorkeur aan kaarten, welke diepten aangeven onder de meest ongunstige omstandigheden, d.w.z. bij lage waterstand. Het vlak, waartoe diepten op de zeekaart teruggebracht worden, heet het *reductievlak* der kaart (Chart datum, Zéro de la carte (zéro hydrographique), Kartennull).

Aangezien echter verschillende soorten laagwaters bestaan en de onderscheidene landen, welke kaarten uitgeven, verschillende reductievlakken gebruiken, heeft dit punt een onderwerp van bespreking uitgemaakt op de conferenties van het Internationaal Hydrografisch Bureau te Monaco. Een aanvankelijk aangenomen beslissing in de conferentie van 1919 werd in 1926 enigszins gewijzigd, zodat thans als definitie geldt: „The tidal datum of the chart should be a plane so low, that the tide will but seldom fall below it". De bedoeling is hiermee zeer duidelijk vastgelegd, doch het is evenzeer duidelijk, dat door deze definitie nog speling gelaten is in het vlak, dat men kiest, hetgeen in de volgende paragrafen zal blijken.

Dat niet een bepaald laagwatervlak voor de gehele wereld werd voorgeschreven, doch alleen principieel werd vastgesteld aan welke eis het te kiezen reductievlak moet voldoen, vindt overigens zijn oorzaak in het feit, dat het meest gunstige vlak voor de zeeman afhankelijk is van het ter plaatse heersende getijtype, dat verschillend is op verschillende plaatsen op aarde.

De stand van het gebruikte reductievlak wordt meestal opgegeven t.o.v. het middenstandsvlak. Enkele internationaal vastgestelde notaties volgen hieronder:

$Z_0$ = hoogte middenstand boven reductievlak.
$M_0$ = hoogte halftij (zie par. 6.2) boven reductievlak.
$S_0$ = hoogte middenstand boven nulpunt peilschaal.
$A_0$ = algemene uitdrukking om de middenstand aan te geven; het wordt ook wel gebruikt om de hoogte van de middenstand aan te geven boven een onbekend vergelijkingsvlak b.v. bij oude waarnemingen.

## 6.7 Reductievlak Nederland

In Nederland gebruikt de Hydrografische Dienst als reductievlak het *vlak van gemiddeld laag-laagwaterspring* (gem. LLWS). Het wordt berekend als het meerjarig gemiddelde (in de regel over 5 jaar) van het laagste springlaagwater van elke maand. Deze jaren zijn zodanig gekozen, dat zij symmetrisch liggen om een jaar van gemiddelde maximum maansdeclinatie.

Dit vlak ligt zo laag, dat b.v. volgens de statistiek van 400 laagwaters te Vlissingen er 380 niet beneden dit vlak dalen, 13 er hoogstens 1,5 dm onder komen, 6 hoogstens 3,5 dm en slechts één meer dan 3,5 dm. De meeste van deze lagere standen komen op rekening van meteorologische invloeden. Opgemerkt wordt, dat Vlissingen de plaats langs de Nederlandse kust is, waar het verval het grootst is. Zoals bekend is het *verval* het hoogteverschil der waterstanden van het hoog (laag) water en het naastvolgend laag (hoog) water.

Aangezien het vlak van gem. LLWS voor plaatsen aan de Nederlandse kust, langs de Waddenzee en aan de Zeeuwse en Zuid-Hollandse stromen verkregen is uit aanwijzingen van registrerende peilschalen van de Rijkswaterstaat, is het verschil tussen het vlak van N.A.P. en het reductievlak overal nauwkeurig bekend.

De Rijkswaterstaat bezigt voor de „peilkaarten" van de Zuid-Hollandse benedenrivieren ook het vlak van gem. LLWS van Hydrografie. Er zijn echter voor R.W.S. bezwaren tegen het gebruik van deze naam, want het reductievlak voor de benedenrivieren reikt tot aan de getijgrens te St. Andries en Wijk bij Duurstede en omvat daardoor grote riviergedeelten, waarop het begrip LLWS ten enenmale niet meer van toepassing is. De Rijkswaterstaat heeft dan ook voor de naam LLWS een nieuwe naam ingevoerd, n.l. het „Overeengekomen Laagwater (OLW)". Deze peilkaarten van de R.W.S. zijn dus direct vergelijkbaar met de zeekaarten.

Tenslotte zij opgemerkt, dat dit vlak niet uitgedrukt kan worden in een harmonische notatie.

Voor de wijze van bepalen van dit reductievlak voor een willekeurige plaats wordt verwezen naar par. 6.14.

## 6.8 Reductievlak Oost-Indische Archipel

Bij het kiezen van een reductievlak voor de Oost-Indische Archipel moet men rekening houden met twee factoren. In hoofdzaak treden hier op gemengde tijden, zodat reductie tot het vlak van gemiddeld laagwater hier nog minder wenselijk is dan in Nederland. Immers de afwijkingen tussen kaartdiepten en die, welke volgens de definitie van het I.H.B. zouden bestaan, zouden nog groter zijn. Voorts beschikt men, met uitzondering van Soerabaja en omgeving, aldaar niet over stelselmatige

peilschaalwaarnemingen van lange duur. Eén en ander heeft ertoe geleid om als reductievlak aan te nemen het gemiddelde der halfjaarlijkse laagste standen, het z.g. *vlak van laagwaterspring* (LWS). Daar de jaargemiddelden dezer halfjaarlijkse laagste standen met de maansdeclinatie in een periode van 18$\frac{2}{3}$ jaar schommelen om een gemiddelde, dat — behoudens min of meer toevallige invloeden — bereikt wordt in een jaar van gemiddelde maans maximum declinatie, zal bij een theoretisch juist reductievlak slechts minder water, dan de kaart aangeeft, worden aangetroffen gedurende de lage laagwaters, welke omtrent en in de jaren van maximum maansdeclinatie halfjaarlijks voorkomen en overigens steeds meer water, of evenveel, als op de kaart staat.

Ouder gewoonte noemt men dit vlak nog steeds het vlak van laagwaterspring, hoewel deze benaming (met toevoeging van „gemiddeld") slechts juist is voor plaatsen met een zuiver dubbeldaagse of zuiver enkeldaagse verticale waterbeweging. Dat men ook thans nog die naam behoudt, ligt daarin, dat het een korte, gangbare uitdrukking is, welke in het zeemansgebruik wordt opgevat te betekenen, dat de diepten der kaart gelden voor het gemiddelde der laagst voorkomende standen en daar dit in de grote meerderheid der gevallen zo is, valt voor dit behoud veel te zeggen.

Tenslotte zij opgemerkt, dat dit vlak niet uitgedrukt kan worden in een harmonische notatie.

Voor de wijze van bepalen van dit reductievlak voor een willekeurige plaats wordt verwezen naar par. 3.6 en 10.3.

### 6.9 Reductievlak Suriname en de Ned. Antillen

In de gehele Caraïbische Zee is de getijbeweging zeer zwak. Alhoewel van zeer weinig betekenis, worden de lodingen, evenals in de Oost-Indische Archipel, herleid tot LWS. Dit vlak ligt voor de Benedenwindse eilanden 20 cm en voor de Bovenwindse eilanden 12 cm beneden middenstand.

Nabij Suriname is het getijverschijnsel krachtiger en sterk overheersend dubbeldaags van karakter. Ook hier is LWS aangenomen als reductievlak, dat voor dit gebied ligt 130 cm beneden middenstand, dat is 353 cm onder het loopvlak van de veersteiger of 347 cm onder het loopvlak van de algemene steiger te Paramaribo. Als verkenmerken zijn aangebracht twee loden platen van 20 × 10 cm, waarop het ingehakte opschrift „onderkant plaat 260 cm boven het reductievlak". Deze platen zijn aangebracht op de balk van de Veersteiger, waaraan de peilschaal is bevestigd (de ligging van het reductievlak werd tevens op de balk door een inkeping aangegeven), en op de tweede balk, gerekend van de Veersteiger af.

### 6.10 Reductievlak aangrenzende landen

Tussen landen, welke aan elkaar grenzen, heeft uitwisseling plaats van opnemingen, verricht in gemeenschappelijke grensrivieren en aan elkaar grenzende kustgedeelten. Het zal duidelijk zijn, dat overname van dieptecijfers van een buitenlandse opneming op een eigen kaart slechts mogelijk is, indien men bekend is met het gebruikte reductievlak. De overname van deze dieptecijfers kan dan op twee manieren plaats vinden n.l.

*a.* na herleiding tot het eigen reductievlak;

*b.* zonder enige wijziging, m.d.v. echter, dat alsdan op de kaart aangegeven dient te worden, welk reductievlak voor het aan te geven gebied gebruikt is.

Bij voorkeur wordt door Nederland de sub *a* vermelde methode gevolgd. Zulks geschiedt dan ook zoveel mogelijk op de kaarten van Nederland en aangrenzend zeegebied. De sub *b* aangegeven methode wordt gevolgd voor de kaarten van de Oost-Indische Archipel en voor Suriname en de Ned. Antillen.

Terloops wordt hierbij opgemerkt, dat, voor een juiste herleiding van een kaartdiepte tot de diepte van het gewenste ogenblik, de getijtafel gebruikt dient te worden, welke de voorspelling geeft t.o.v. het op de kaart gebruikte reductievlak, tenzij men op de gevonden waarden een correctie toepast voor het verschil in ligging van de reductievlakken op kaart en in getijtafel.

Onderstaand staatje geeft een overzicht van verschillende gegevens van aan Nederland grenzende landen, welke gegevens wellicht van waarde kunnen zijn bij gebruikmaking van de opnemingen dier landen.

Echter wordt eerst nog het volgende vermeld betreffende de door België gebruikte reductievlakken langs de Belgische Noordzeekust. De reductievlakken dezer Belgische kaarten worden thans opgegeven t.o.v. „H", het vlak van laag laagwater stroomtij te Ostende (Basse basse mer de vive eau), dat verkregen werd door over een lange periode het gemiddelde te nemen der laagste laagwaterstanden van elke maansmaand. Dit verschilt iets met het door Nederland gebruikte vlak van gem. LLWS, dat immers het gemiddelde is van het laagste springlaagwater van elke maand. Een door België ingesteld onderzoek voor de jaren 1925—1943 gaf voor Ostende aan, dat het reductievlak volgens de Nederlandse definitie 2 mm. lager lag dan het Belgische, hetgeen dus te verwaarlozen is. De „H" te Ostende ligt 0,28 m lager dan het Zéro des Ponts et Chaussées en dus 2,85 m onder N.A.P. (zie par. 6.4 sub *c*).

Dit vlak wordt als reductievlak aangehouden voor alle Belgische grote-schaal kaarten (1 : 20.000 en groter) langs de Noordzee, onafhankelijk van het betrokken gebied. Voor kaarten op kleinere schaal wordt echter als reductievlak gebruikt het plaatselijk LLWS (laag laagwater stroomtij), dat dus verschillend is voor verschillende gebieden, zoals uit onderstaand staatje moge blijken.

| Plaats | Reductievlak door het buitenland gebezigd | Buitenlands reductievlak tevens herleid tot NAP | Nederlands reductievlak (gem. LLWS) t.o.v. NAP | Correctie toe te passen op buitenlandse dieptecijfers |
|---|---|---|---|---|
| *Nederland* | | | | |
| Delfzijl | Mittleres Spring Niedrig Wasser (M. Sp. N. W.) = gem. laagwater-springtij | NN — 180 = NAP — 178 | NAP — 203 | — 3 dm |
| Hansweerd | Niveau de basse mer moyenne de vive eau = Gem. laagwaterspringtij | ODG = NAP — 240 | NAP — 270 | — 3 dm |
| Bat | | ODG = NAP — 240 | NAP — 261 | — 2 dm |
| Hedwigpolder | | ODG = NAP — 240 | NAP — 261 | — 2 dm |

| Plaats | Reductievlak door het buitenland gebezigd | Buitenlands reductievlak tevens herleid tot NAP | Nederlands reductievlak (gem. LLWS) t.o.v. NAP | Correctie toe te passen op buitenlandse dieptecijfers |
|---|---|---|---|---|
| *Duitsland* | | | | |
| Borkum-Südstrand | Mittleres Spring Niedrig Wasser (M.Sp.N.W.) = gem. laagwater-springtij | NN — 150 = NAP — 148 | NAP — 171 | — 3 dm |
| Emden | | NN — 190 = NAP — 188 | NAP — 216 | — 3 dm |
| Norderney | | NN — 147 = NAP — 145 | NAP — 174 | — 3 dm |
| *Belgie* | | | | |
| Frederik | Niveau de basse mer moyenne de vive eau = Gem. laagwaterspringtij | ODG = NAP — 240 | NAP — 267 | — 3 dm |
| Doel | | ODG = NAP — 240 | NAP — 270 | — 3 dm |
| Lilloo | | ODG = NAP — 240 | NAP — 275 | — 4 dm |
| Belgische Sluis | | ODG = NAP — 240 | NAP — 276 | — 4 dm |
| Fort Philippe | | ODG = NAP — 240 | NAP — 277 | — 4 dm |
| Draaiende Sluis | | ODG = NAP — 240 | NAP — 276 | — 4 dm |
| Austruweel | | ODG = NAP — 240 | NAP — 272 | — 3 dm |
| Antwerpen | | ODG = NAP — 240 | NAP — 269 | — 3 dm |
| Omgeving Ostende | Basse basse mer de vive eau = Lang laagwater-stroomtij | H = NAP — 285 | NAP — 285 | 0 dm |
| Ostende tot Blankenberge | | H = NAP — 285 | NAP — 280 | 0 dm |
| Blankenberge tot Knocke | | H + 10 = NAP — 275 | NAP — 270 | 0 dm |
| Knocke tot Ned. grens | | H + 10 = NAP — 275 | NAP — 260 | + 1 dm |
| Ned. grens tot Nieuwe Sluis | | H + 20 = NAP — 265 | NAP — 260 | 0 dm |

*Opmerking.*

Het vorenstaande betreffende de reductievlakken, welke door de Belgen langs de Belgische Noordzeekust gebruikt worden, geldt alleen voor de kleine-schaal kaart. Voor grote-schaal kaarten (1 : 20.000 en groter) wordt *steeds* H = NAP — 285 als reductievlak gebezigd, onafhankelijk van de ligging van het gebied.

### 6.11 Reductievlakken in overige landen

Reeds in par. 6.6 is opgemerkt, dat door de definitie, welke door het Internationaal Hydrografisch Bureau voor het reductievlak is aangenomen, in de keuze van het aan te nemen vlak nog enige speling wordt gelaten. Voorts zijn nog niet alle landen, die zeekaarten uitgeven, overgegaan tot het aannemen van een reductievlak,

dat aan de vastgestelde definitie voldoet, zodat voorshands nog verschillende reductievlakken in gebruik zijn. De meest gebruikelijke (van de laagste tot de hoogste) zullen, met hun benaderde equivalenten in harmonische notaties, hieronder genoemd worden.

(1) *Laagst waargenomen laagwater.* (Lowest possible low water, Niveau de la plus basse mer possible, Niedrigstes mögliches Niedrig-wasser). Dit is het reductievlak der Franse kaarten. Dit vlak kan niet zuiver worden uitgedrukt in een harmonische notatie, doch Frankrijk neemt hiervoor aan:

$$Z_0 — 1{,}2\ (\text{ampl. } M_2 + \text{ampl. } S_2 + \text{ampl. } K_2).$$

Het zal duidelijk zijn, dat bij aanwezigheid van enkeldaagse getijden — vooral indien zij van enig belang zijn — deze harmonische notatie een vlak zal aangeven, dat zeer belangrijk boven het laagst waargenomen laagwater zal liggen. Aangenomen mag echter worden, dat in een dergelijk geval het reductievlak niet uit constanten berekend wordt, doch dat de kaarten inderdaad de minimum verwachtbare diepten aangeven.

(2) *Gemiddeld laag laagwater spring.* (Mean lower lowwater springs, Hauteur moyenne des basses mers inférieures de vive-eau, Mittleres niedrigeres Springniedrig wasser). Zie par. 6.7.

(3) *Laagwaterspring* (zie par. 6.8). Zoals reeds opgemerkt is deze benaming feitelijk onjuist. Bedoeld wordt het gemiddelde der halfjaarlijkse laagste standen. Het wordt wel eens in het Engels aangegeven met „Mean halfyearly low water springs".

De vlakken (2) en (3) kunnen niet in een harmonische notatie opgegeven worden, aangezien hun harmonische equivalenten afhankelijk zijn van het getijtype. Beide voldoen aan de internationaal vastgestelde definitie.

(4) *Indisch springlaagwater.* (Indian spring low water, Niveau de la basse mer de vive eau, dite „de l'Inde", Indisches Springniedrigwasser). De harmonische notatie luidt:

$$Z_0 — (\text{ampl. } M_2 + \text{ampl. } S_2 + \text{ampl. } K_1 + \text{ampl. } O_1).$$

Dit vlak, oorspronkelijk aangenomen door Prof. G. H. Darwin bij zijn onderzoek der Indische getijden, wordt meestal gebruikt op plaatsen, waar sterke enkeldaagse getijden voorkomen. Het behoeft echter geen betoog, dat bij coïncidentie van de laagwaters van beide groepen bij springtij, door de invloed der zwakkere getijden de werkelijke laagste standen nog beneden het volgens vorenvermelde notatie bepaalde vlak kunnen vallen, terwijl, indien de coïncidentie bij doodtij plaats vindt, het aangegeven vlak aanmerkelijk te laag zal kunnen liggen.

(5) *Gemiddeld laagwaterspring.* (Mean low water springs, Niveau de basse mer moyenne de vive eau, Mittleres Springniedrigwasser). De harmonische notatie is:

$$Z_0 — (\text{ampl. } M_2 + \text{ampl. } S_2).$$

In gebieden, waar het enkeldaags getij ontbreekt, vallen ongeveer 50 % der springlaagwaters en 12 % van alle laagwaters beneden dit vlak; dit percentage neemt natuurlijk toe met het belangrijker worden der enkeldaagse getijden.

(6) *Gemiddeld laag laagwater* (Mean lower low water, Hauteur moyenne des basses mers inférieures, Mittleres niedrigeres Niedrigwasser). Een nauwkeurige harmonische notatie is niet mogelijk, doch deze wordt benaderd door:

$$Z_0 — [\text{ampl. } M_2 + (\text{ampl. } K_1 + \text{ampl. } O_1) \cos 45°]$$

Ongeveer 50 % van de lage laagwaters en 25 % van alle laagwaters valt beneden dit vlak, dat verkregen wordt door het gemiddelde te nemen van de laagste der dagelijks voorkomende laagwaters.

(7) *Gemiddeld laagwater* (Mean low water, Basse mer moyenne, Mittleres Niedrigwasser) met de harmonische notatie

$$Z_0 — (\text{ampl. } M_2).$$

Ongeveer 50 % der laagwaters valt beneden dit reductievlak.

(8) *Middenstand* (Mean sea level, Niveau moyen de la mer, Mittlerer Wasserstand) met notatie $Z_0$.

Dit reductievlak wordt alleen gebruikt in gebieden waar geen getijbeweging bestaat, zoals b.v. in de Oostzee.

Aangezien de Nederlandse zeeman, voor zover hij niet op Nederlandse kaarten vaart, over het algemeen gebruik maakt van Britse Admiraliteitskaarten, moge hiervan nog het volgende vermeld worden.

De reductievlakken dezer kaarten, voor zover betreft Britse opnemingen, zijn:

*a.* Wanneer de dagelijkse ongelijkheid in hoogte klein is: ongeveer midden tussen gemiddeld laagwaterspring en het laagst waargenomen laagwater. De harmonische notatie, welke dit vlak het dichtst benaderd, is:

$$Z_0 — 1{,}1\ (\text{ampl. } M_2 + \text{ampl. } S_2).$$

*b.* Wanneer de dagelijkse ongelijkheid in hoogte van belang is: Indisch springlaagwater (zie hierboven sub (4)).

In alle gedeelten van de wereld, waar Britse opnemingen hebben plaats gevonden, voldoet dus het door de Britse Admiraliteit gebruikte reductievlak aan de door het I.H.B. genomen resolutie. In buitenlandse wateren is echter het reductievlak, dat door de oorspronkelijke buitenlandse opnemer gebruikt werd, aangehouden.

Uit het voorgaande blijkt, dat, afgezien van het feit, dat het water door meteorologische en andere invloeden beneden nagenoeg elk aangenomen reductievlak kan wegvallen, toch in vele gevallen minder water aangetroffen kan worden, dan volgens de kaart aangegeven staat. Immers niet altijd is het reductievlak zo gekozen, dat minimum diepten staan opgegeven. Schepen zijn aan de grond gelopen, doordat men zich hiervan onvoldoende rekenschap gaf.

Het gebruikte reductievlak wordt op de Nederlandse en op de Britse Admiraliteitskaarten alleen vermeld, indien de schaal der kaart groter is dan 1 : 500.000.

Een globaal overzicht van de in verschillende vreemde landen voor eigen opnemingen in gebruik zijnde reductievlakken, benevens de vlakken ten opzichte waarvan hoogten van terrein-voorwerpen staan opgegeven, volgt hieronder.

| Land | Reductievlak | Hoogten t.o.v. |
|---|---|---|
| Argentinië . . . . | Gem. laagwater | Middenstand |
| België . . . . . . | Schelde: Gem. laagwaterspring<br>Noordzee: Gem. laag laagwater-stroomtij | Gem. laagwaterspring |
| Brazilië . . . . . . | Gem. laagwaterspring | Middenstand |
| Chili | Gem. laagwaterspring | Gem. hoogwaterspring |
| Denemarken . . . | Oostzee: Middenstand<br>Noordzee: Gem. laagwaterspring | Middenstand |
| Duitsland . . . . . | Oostzee: Middenstand<br>Noordzee: Gem. laagwaterspring | Middenstand |
| Frankrijk . . . . . | Laagst waargenomen laagwater | Middenstand |
| Griekenland . . . . | Laagst waargenomen laagwater | Middenstand |
| Groot Brittannië . | Ongeveer gemiddeld laagwaterspring of Indisch springlaagwater | Gem. hoogwaterspring |
| Italië . . . . . . . | Gem. laagwaterspring | Middenstand |
| Japan . . . . . . | Indisch springlaagwater | Hoogst waargenomen hoogwater |
| Noorwegen . . . . | Middenstand | Middenstand |
| Portugal . . . . . | Laagst waargenomen laagwater | Middenstand |
| Rusland . . . . . | Oost- en Zwarte Zee: Middenstand | Middenstand |
| Spanje . . . . . . | Laagst waargenomen laagwater | Middenstand |
| Verenigde Staten . | Oostkust: Gem. laagwater<br>Westkust: Gem. laag laagwater | In het algemeen: Gem. hoogwater |
| Zweden . . . . . . | Middenstand | Middenstand |

De reductievlakken, welke op de Nederlandse zeekaarten gebezigd worden, zijn genoemd in de paragrafen 6.7 t/m 6.9. De hoogten van terreinvoorwerpen staan steeds opgegeven t.o.v. middenstand.

### 6.12 Algemene beschouwing over bepaling reductievlak

Bij het bepalen van het reductievlak voor een bepaalde opneming kan men 3 gevallen onderscheiden, t.w.:

(1) Herbepaling van een reductievlak voor een plaats, waarvoor een destijds aangenomen vlak reeds bestaat.

(2) Overbrenging van een aangenomen reductievlak van een bepaalde plaats naar een nabijgelegen plaats.

(3) Bepaling van een nieuw reductievlak.

Deze gevallen zullen afzonderlijk behandeld worden.

(1) *Herbepaling reductievlak.* Op vele plaatsen is reeds vroeger bij een eerste opneming het reductievlak bepaald. Bij een heropneming dient hetzelfde reductievlak aangehouden te worden, tenzij de instructies het tegendeel voor-

schrijven. De inlichtingen, benodigd voor het terugvinden van het oude vlak, kunnen op één of meer van onderstaande wijzen worden opgegeven:

(*a*) door vergelijk met een verkenmerk aan de wal, b.v. lodingen gereduceerd tot een vlak gelegen 5,60 m onder de bovenkant van een pilaar enz.

(*b*) door vergelijk met een topografisch vergelijkingsvlak, b.v. reductievlak ligt 1,90 m onder N.A.P.

(*c*) door vermelding van een bepaalde waterstand, b.v. diepten herleid tot gem. LLWS.

In de gevallen (*a*) en (*b*) behoeft men slechts d.m.v. nivellering het gebruikte vergelijkingsvlak (verkenmerk of N.A.P.) over te brengen op een houten peilschaal, welke in de nabijheid is opgericht. Op de aldus gevonden aflezing moet het bedrag genoemd onder (*a*) c.q. (*b*) worden toegepast om de aanwijzing van de peilschaal te vinden voor het te gebruiken reductievlak.

In geval (*c*) zal een serie peilschaalwaarnemingen van enige duur genomen moeten worden, teneinde het vlak te bepalen volgens een later te behandelen methode. Zuivere overeenstemming met een vroeger aangenomen vlak is hierbij echter practisch uitgesloten, aangezien bij oude opnemingen zelden een voldoend lange serie is waargenomen voor het verkrijgen van nauwkeurige resultaten.

(2) *Overbrenging reductievlak.* Wanneer voor een willekeurige plaats een bepaald reductievlak is aangenomen, dan dient dit vlak (wat soort betreft; dus niet wat hoogte betreft) voor een nabijgelegen plaats aangehouden te worden. Het verval kan hierbij aanmerkelijk verschillen, echter dient hierbij vooropgesteld te worden, dat het getijkarakter nagenoeg gelijk is. Overbrenging van het reductievlak kan dan geschieden door gelijktijdige waarneming van peilschalen op beide plaatsen opgericht. Hiertoe zijn de volgende observaties nodig:

(*a*) Wanneer de dagelijkse ongelijkheid in hoogte klein is: de hoogten van niet minder dan vier (in ieder geval een *even* aantal) opvolgende hoogwaters, benevens een gelijk aantal laagwaters (hetzij voorafgaand dan wel volgend op elk der hoogwaters); de waarnemingen dienen zo dicht mogelijk bij springtij plaats te vinden.

(*b*) Wanneer de dagelijkse ongelijkheid in hoogte wel van belang is: de hoogten van niet minder dan drie opvolgende hoger-hoogwaters en een gelijk aantal der bijbehorende lager-laagwaters; de waarnemingen te verrichten om en nabij de tijd van maximum verval.

In geval (*a*) kan dus volstaan worden met 2 etmalen waarnemen, in geval (*b*) met 3 etmalen.

Uit deze waarnemingen kunnen berekend worden gemiddeld hoog (of hoger hoog-)water, gemiddeld laag- (of lager laag-) water, gemiddeld verval en halftij. Stel voor de standaard peilschaal D = aanwijzing reductievlak, M = aanwijzing halftij, R = gemiddeld verval en voor de corresponderende waarden van de hulppeilschaal d, m en r. Men neemt aan $\frac{m - d}{r} = \frac{M - D}{R}$, waaruit

$$d = m - \frac{r\,(M - D)}{R}.$$

Met nadruk wordt erop gewezen, dat overbrenging van het reductievlak alleen op deze wijze kan geschieden, indien het getijkarakter op beide plaatsen gelijk is. Is zulks niet het geval, dan dient het reductievlak geheel opnieuw bepaald te worden. Hoe zulks geschiedt, wordt later nader aangegeven.

Op rivieren, waar het verschil tussen de laagwaters bij springtij en bij doodtij afneemt, naarmate men de rivier opgaat en het laagwater doodtij zelfs lager kan komen te liggen dan het laagwater springtij, dienen de reductievlakken, teneinde zo goed mogelijk te voldoen aan het internationaal vastgestelde vlak, steeds onafhankelijk bepaald te worden.

(3) *Bepaling van een nieuw reductievlak.* Zoals reeds hiervoren vermeld, wordt als reductievlak voor de Nederlandse zeekaarten van Nederland gebruikt het vlak van gem. LLWS en voor de zeekaarten van de Oost-Indische Archipel, zowel als van Suriname en de Ned. Antillen, het LWS vlak. Hoe de ligging van deze vlakken bepaald wordt, vindt men in resp. par. 6.14 en in par. 3.6 en 10.3.

## 6.13 Bepaling middenstand

Uit het voorgaande is reeds gebleken, dat het middenstandsvlak in de getijleer een belangrijke rol speelt, al was het alleen maar als getijvlak, ten opzichte waarvan het reductievlak wordt uitgedrukt.

Zoals in par. 6.2 vermeld, kan een theoretisch zuiver middenstandsvlak slechts berekend worden uit een oneindig aantal waarnemingen. Benadering van dit vlak is echter mogelijk uit kortere series en men verkrijgt dit benaderde middenstandsvlak o.a. bij de uitvoering van de berekening voor de benadering der getijconstanten uit series van 1 jaar, 29 dagen en 15 dagen. Men kan zelfs nog verder gaan en de middenstand benaderen uit een dagserie. Het loont de moeite dit nader te onderzoeken, vooral omdat één en ander ook betrekking heeft op de series van langere duur.

De middenstand werd bij een dagserie gewoonlijk verkregen door het gemiddelde te nemen van 24 uur-waarnemingen of soms van 25 uur-waarnemingen. De resultaten kunnen niet bevredigend genoemd worden. De eerste methode elimineert de zonsgetijden, terwijl de maansgetijden (vooral $M_2$ en $O_1$) de resultaten nog aanzienlijk beïnvloeden. Volgens de tweede methode bereikt men het tegengestelde. De volgende tabel, welke vermeld staat in de Admiralty Manual of Tides, geeft een aardig overzicht van de te verwachten fouten per eenheid van amplitude der partiële getijden bij de twee genoemde methoden.

*Mogelijke fouten bij bepaling middenstand*

| Partieel getij | Amplitude getij vermenigvuldigen met: | |
|---|---|---|
| | (a) 24 waarnemingen | (b) 25 waarnemingen |
| $K_1$ . . . . . . . . . . . . . . | 0,003 | 0.042 |
| $O_1$ . . . . . . . . . . . . . . | 0,075 | 0,032 |
| $M_2$ . . . . . . . . . . . . . . | 0,035 | 0,006 |
| $S_2$ . . . . . . . . . . . . . . | 0,000 | 0,040 |
| $M_4$ . . . . . . . . . . . . . . | 0,035 | 0,006 |
| $MS_4$ . . . . . . . . . . . . . | 0,018 | 0,024 |

Dit wil dus zeggen, dat, aannemende een amplitude $M_2$ van 100 cm, dit getij bij 24 waarnemingen 3,5 cm en bij 25 waarnemingen 0,6 cm bijdraagt tot een fout in de benaderde middenstand. Bij een maandserie zullen deze fouten veel geringer zijn, omdat de bijdragen van $M_2$ dagelijks harmonisch veranderen. De fouten, veroorzaakt door de zonsgetijden, blijven echter gelijk, waaruit volgt dat de 24 uur groepering de voorkeur verdient. Geen der beide methoden is echter ideaal.

De Admiralty Manual of Tides geeft thans de volgende methode, waarbij gebruik gemaakt wordt van de notaties:

$y$ = de hoogte van een partieel getij boven (of onder) middenstand, waaraan een index wordt toegevoegd, aangevende het aantal uren na een aangenomen begintijdstip = 0.

$\Theta$ = beginphase op tijdstip 0.

A = amplitude ($A_0$ = hoogte middenstand).

n = hoeksnelheid partieel getij.

Men beschouwt de volgende speciale groeperingen van y:

(*a*) $y_0 + y_8 + y_{16}$

(*b*) $y_0 + y_5 + y_{10} + y_{15} + y_{20}$

(*c*) $y_0 + y_2$

Deze groeperingen zullen verder uitgewerkt worden, waarbij b.v. voor $y_8$ geschreven kan worden $A_0 + A\cos(\Theta + 8n)$. Men krijgt dan

(*a*) $A_0 + A\cos\Theta + A_0 + A\cos(\Theta + 8n) + A_0 + A\cos(\Theta + 16n)$.

Stel $(\Theta + 8n) = \alpha$, dan krijgt men

$$3A_0 + A\cos(\alpha - 8n) + A\cos\alpha + A\cos(\alpha + 8n) =$$

$$3A_0 + A[(\cos\alpha\cos 8n + \sin\alpha\sin 8n) + \cos\alpha + (\cos\alpha\cos 8n - \sin\alpha\sin 8n)] =$$

$$3A_0 + A(2\cos\alpha\cos 8n + \cos\alpha) =$$

$$3A_0 + A\cos\alpha(2\cos 8n + 1) = 3A_0 + A\cos\alpha\left(\frac{2\cos 8n\sin 4n}{\sin 4n} + \frac{\sin 4n}{\sin 4n}\right).$$

Met de formule $2\cos\frac{1}{2}(p + q)\sin\frac{1}{2}(p - q) = \sin p - \sin q$, verkrijgt men

$$3A_0 + A\cos\alpha\left(\frac{\sin 12n - \sin 4n}{\sin 4n} + \frac{\sin 4n}{\sin 4n}\right) = 3A_0 + A\cos\alpha\frac{\sin 12n}{\sin 4n}.$$

De waarde van $\alpha$ wederom invoerende, verkrijgt men:

$$3A_0 + \frac{\sin 12n}{\sin 4n}A\cos(\Theta + 8n).$$

(*b*) $A_0 + A\cos\Theta + A_0 + A\cos(\Theta + 5n) + A_0 + A\cos(\Theta + 10n) + A_0 + A\cos(\Theta + 15n) + A_0 + A\cos(\Theta + 20n)$.

Stel $(\Theta + 10n) = \alpha$, dan krijgt men

$$5A_0 + A\cos(\alpha - 10n) + A\cos(\alpha - 5n) + A\cos\alpha + A\cos(\alpha + 5n) + A\cos(\alpha + 10n) =$$

$$5A_0 + A[(\cos\alpha\cos 10n + \sin\alpha\sin 10n) + (\cos\alpha\cos 5n + \sin\alpha\sin 5n) + \cos\alpha + (\cos\alpha\cos 5n - \sin\alpha\sin 5n) + (\cos\alpha\cos 10n - \sin\alpha\sin 10n)] =$$

$$5A_0 + A\,(2 \cos \alpha \cos 10n + 2 \cos \alpha \cos 5n + \cos \alpha) =$$
$$5A_0 + A \cos \alpha\,(2 \cos 10n + 2 \cos 5n + 1) =$$
$$5A_0 + A \cos \alpha \left( \frac{2 \cos 10n \sin 2{,}5\,n}{\sin 2{,}5\,n} + \frac{2 \cos 5n \sin 2{,}5\,n}{\sin 2{,}5\,n} + \frac{\sin 2{,}5\,n}{\sin 2{,}5\,n} \right).$$
Met de formule $2 \cos \frac{1}{2}(p + q) \sin \frac{1}{2}(p - q) = \sin p - \sin q$, verkrijgt men
$$5A_0 + A \cos \alpha \left( \frac{\sin 12{,}5\,n - \sin 7{,}5\,n}{\sin 2{,}5\,n} + \frac{\sin 7{,}5\,n - \sin 2{,}5\,n}{\sin 2{,}5\,n} + \frac{\sin 2{,}5\,n}{\sin 2{,}5\,n} \right) =$$
$$5A_0 + A \cos \alpha \frac{\sin 12{,}5\,n}{\sin 2{,}5\,n}.$$
De waarde van $\alpha$ wederom invoerende, verkrijgt men
$$5A_0 + \frac{\sin 12{,}5\,n}{\sin 2{,}5\,n} A \cos (\Theta + 10n).$$

(*c*) $A_0 + A \cos \Theta + A_0 + A \cos (\Theta + 2n) =$
$$2A_0 + A\,[\cos \Theta + \cos (\Theta + 2n)] =$$
$$2A_0 + A \times 2 \cos (\Theta + n) \cos (-n) = 2A_0 + 2 \cos n \times A \cos (\Theta + n).$$

Uit de verkregen resultaten ziet men, dat in elke combinatie de sommatie uitgedrukt kan worden als een veelvoud van de middenstand, vermeerderd met een product van de vorm $fA \cos (\Theta + \Delta\,\Theta)$, waarbij f een factor is, waarmede de amplitude van het betreffende getij moet worden vermenigvuldigd en $\Delta\,\Theta$ de wijziging in phase van de eerste term der combinatie.

Voorts blijkt uit deze groeperingen, dat voor elk partieel getij met een hoeksnelheid n de amplitude vermenigvuldigd wordt met sin 12n/sin 4n in geval (*a*), met sin 12,5 n/sin 2,5n in geval (*b*) en met 2 cos n in geval (*c*), terwijl de phase geldt voor het midden van de beschouwde periode. Wil men de middenstand bepalen, dan dient men dus alle partiële getijden te elimineren. Men zoekt daartoe uit de groeperingen, waarbij de factor f = 0 of bijna 0, in welk geval men slechts een veelvoud van de middenstand overhoudt. In een verhandeling van A. T. Doodson, getiteld „The Analysis of tidal observations", vindt men onderstaand lijstje voor verschillende groeperingen met de bijbehorende waarden van f en $\Delta\,\Theta$.

| Groepering | f | $\Delta\,\Theta$ | Groepering | f | $\Delta\,\Theta$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $y_0 + y_2$ | 2 cos n | n | $y_0 - y_6$ | 2 cos (3n + 90°) | 3n + 90° |
| $y_0 + y_3$ | 2 cos 1,5 n | 1,5 n | $y_0 - y_8$ | 2 cos (4n + 90°) | 4n + 90° |
| $y_0 + y_4$ | 2 cos 2n | 2n | $y_0 - y_{12}$ | 2 cos (6n + 90°) | 6n + 90° |
| $y_0 + y_6$ | 2 cos 3n | 3n | $y_0 + y_2 + y_4$ | sin 3n/sin n | 2n |
| $y_0 + y_{12}$ | 2 cos 6n | 6n | $y_0 + y_4 + y_8$ | sin 6n/sin 2n | 4n |
| $y_0 - y_2$ | 2 cos (n + 90°) | n + 90° | $y_0 + y_8 + y_{16}$ | sin 12n/sin 4n | 8n |
| $y_0 - y_3$ | 2 cos (1,5n + 90°) | 1,5n + 90° | $y_0 + y_9 + y_{18}$ | sin 13,5n/sin 4,5n | 9n |
| $y_0 - y_4$ | 2 cos (2n + 90°) | 2n + 90° | $y_0 + y_5 + y_{10} + y_{15} + y_{20}$ | sin 12,5n/sin 2,5n | 10n |

Beschouwen wij thans weer de drie genoemde gevallen (*a*), (*b*) en (*c*) en zijn de waarnemingen verricht met intervallen van 1 middelbaar zonsuur, dan is sin 12n = 0, indien n een veelvoud van 15° is. Daarmede is de factor ook 0, mits sin 4n niet tevens nul is. Dit wil zeggen, dat de factor nul wordt voor $S_1$, $S_2$, $S_4$ en $S_8$, doch niet voor $S_3$ en $S_6$, hetgeen blijkt uit onderstaand staatje.

| | $S_1$ n = 15° | $S_2$ n = 30° | $S_3$ n = 45° | $S_4$ n = 60° | $S_6$ n = 90° | $S_8$ n = 120° |
|---|---|---|---|---|---|---|
| t | sin n t | sin n t | sin n t | sin n t | sin n t | sin n t |
| 12 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 4 | 0,866 | 0,866 | 0,000 | — 0,866 | 0,000 | 0,866 |

De groepering (*c*) echter geeft voor $S_6$ nul, zodat het voor de hand ligt de groepen (*a*) en (*c*) te combineren tot

$$(y_0 + y_2) + (y_8 + y_{10}) + (y_{16} + y_{18}),$$

waarbij de invloed op de middenstand nul zal zijn voor de getijden $S_1$, $S_2$, $S_4$, $S_6$ en $S_8$, maar niet voor $S_3$. Aangezien driemaaldaagse getijden zeer zwak zijn, kunnen deze verder gevoegelijk buiten beschouwing blijven.

Het spreekt vanzelf, dat deze combinatie tevens gunstig is ten aanzien van b.v. $K_1$ (n = 15°,0411) en $P_1$ (n = 14°,9589).

De groepering (*b*) geeft zeer kleine bijdragen van alle maansgetijden $M_1$, $M_2$, $M_3$ enz. (immers 12,5 n voor $M_2$ is 12,5 × 28°,9841 = 362°,3), zodat een combinatie hiervan met de gecombineerde (*a*) en (*c*) zeer gunstig zal zijn. Men krijgt dan

$$\begin{aligned} &(y_0 + y_2) + (y_8 + y_{10}) + (y_{16} + y_{18}) \\ &+ (y_5 + y_7) + (y_{13} + y_{15}) + (y_{21} + y_{23}) \\ &+ (y_{10} + y_{12}) + (y_{18} + y_{20}) + (y_{26} + y_{28}) \\ &+ (y_{15} + y_{17}) + (y_{23} + y_{25}) + (y_{31} + y_{33}) \\ &+ (y_{20} + y_{22}) + (y_{28} + y_{30}) + (y_{36} + y_{38}). \end{aligned}$$

De formule wordt uitgedrukt in onderstaande tabel

*Vermenigvuldigingsfactoren voor de middenstand*

Deler = 30

| t | Factor | t | Factor | t | Factor | t | Factor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 10 | 2 | 20 | 2 | 30 | 1 |
| 1 | 0 | 11 | 0 | 21 | 1 | 31 | 1 |
| 2 | 1 | 12 | 1 | 22 | 1 | 32 | 0 |
| 3 | 0 | 13 | 1 | 23 | 2 | 33 | 1 |
| 4 | 0 | 14 | 0 | 24 | 0 | 34 | 0 |
| 5 | 1 | 15 | 2 | 25 | 1 | 35 | 0 |
| 6 | 0 | 16 | 1 | 26 | 1 | 36 | 1 |
| 7 | 1 | 17 | 1 | 27 | 0 | 37 | 0 |
| 8 | 1 | 18 | 2 | 28 | 2 | 38 | 1 |
| 9 | 0 | 19 | 0 | 29 | 0 | | |

terwijl de doelmatigheid moge blijken uit onderstaand staatje, gevende de resultaten voor enkele getijden.

*De bijdragen tot benaderde waarden van de middenstand, verkregen uit 39 uurwaarnemingen met toepassing van de vermenigvuldigingsfactor*

| Partieel getij | Amplitude vermenigvuldigd met: |
|---|---|
| $M_2$ . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,0006 |
| $S_2$ . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,000 |
| $M_4$ . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,003 |
| $M_6$ . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,002 |
| $K_1$ . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,000 |
| $O_1$ . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,002 |
| $MO_3$ . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,007 |

Uit het voorgaande blijkt, dat de formule vereist waarnemingen over een tijdvak van 38 uur ($0^u$ t/m $38^u$).

Het eindresultaat van deze benadering is dus, dat men krijgt de middenstand, welke zo min mogelijk is aangedaan door storende invloeden der partiële getijden.

### 6.14 Bepaling reductievlak Nederland en reductiekaart

In Nederland zijn in de loop der jaren gegevens verzameld betreffende de voortschrijding van de getijgolf langs de kust, in de Zeeuwse en Zuid-Hollandse stromen en in de Waddenzee, zowel wat betreft haar hoogte als haar snelheid. Een en ander is neergelegd in de reductiekaart.

Teneinde een juist begrip te krijgen van deze kaart is het noodzakelijk, dat men volkomen bekend is met de verschillende hydrografische en zeevaartkundige (vak-) termen. De meeste dezer termen zijn reeds behandeld (zie par. 6.2, 6.3, 6.4, 6.6 en 6.7), doch een enkele definitie zal nog gegeven worden, waarbij fig. 6.1 een beeld geeft van de verschillende vlakken.

*Rijzing* boven het reductievlak = de hoogte van het hoogwater boven het red. vlak.

*Verval* = het hoogteverschil der waterstanden van twee opeenvolgende hoog-(laag-) en laag-(hoog-) waters. De Rijkswaterstaat noemt dit het „tijverschil".

*Stijging* = de verheffing van de zeespiegel boven een bepaald vlak, als regel van HW boven het voorafgaande LW.

*Daling* = het bedrag, dat de zeespiegel daalt onder een bepaald vlak, als regel het verschil in hoogte tussen LW en het voorafgaande HW.

*Leeftijd* van het getij =

*a.* voor dubbeldaagse getijden: het gemiddelde tijdsverloop tussen de tijd van Nieuwe of Volle maan en de tijd van het daaropvolgend springhoogwater van het dubbeldaagse getij of groep.

*b.* voor enkeldaagse getijden: het gemiddelde tijdsverloop tussen de tijd van maans maximum declinatie en het daaropvolgend springhoogwater van het enkeldaagse getij of groep.

*Maansverloop* = het tijdsverloop tussen maansmeridiaansdoorgang en het daaropvolgend hoog- of laagwater op een willekeurige dag.

*Havengetal* = het tijdsverloop tussen maansmeridiaansdoorgang en het eerstvolgend hoogwater op de dag van Nieuwe of Volle Maan.

*Verbeterd havengetal* = het tijdsverloop tussen maansmeridiaansdoorgang en het eerstvolgend hoogwater op de dag van springtij.

*Gemiddeld havengetal* = het verbeterd havengetal, echter verkregen door middeling van alle maansverlopen, waardoor de invloed van het zonsgetij geëlimineerd wordt. Het is dus het kappagetal in tijd van de samengestelde M-kromme voor plaatsen met een overheersend dubbeldaags karakter.

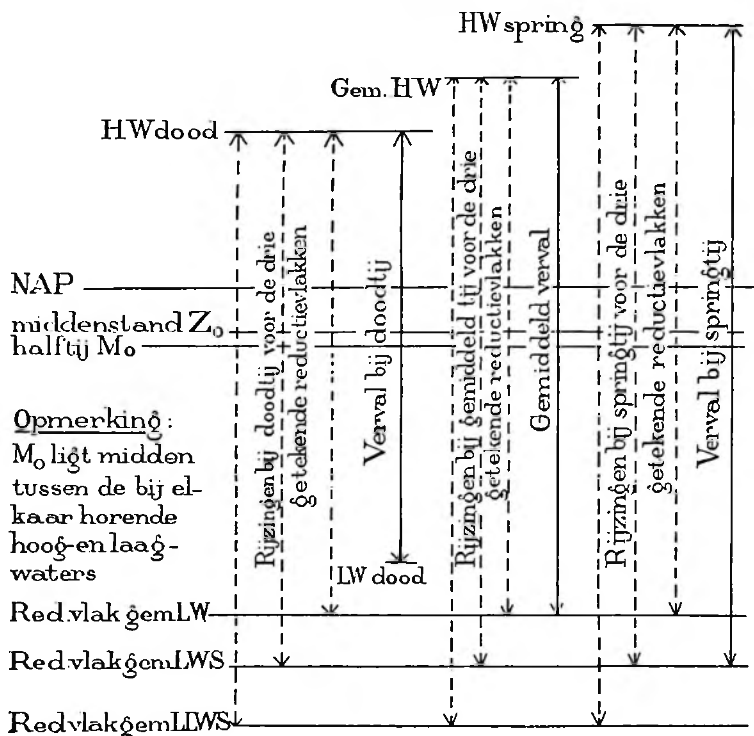





Fig. 6.1

Beschouwt men thans de reductiekaart, in gebruik bij de Afdeling Hydrografie, dan ziet men hierop getrokken lijnen van gelijk gemiddeld havengetal en lijnen van gelijk reductievlak. Voor het trekken van deze lijnen is gebruik gemaakt van:

*a.* gegevens van de Rijkswaterstaat;

*b.* Belgische gegevens voor Belgisch zeegebied;

*c.* Duitse gegevens voor de Eems;

*d.* verplaatsbare peilschalen.

Zoals bekend, staan op vele plaatsen langs de kust (daaronder begrepen de Zeeuwse en Zuid-Hollandse stromen en de Waddenzee) al sinds jaren registrerende peilschalen van de Rijkswaterstaat.

Door deze toestellen wordt de verticale getijbeweging door middel van een arm met schrijfstift weergegeven op een stuk papier, dat gewikkeld is om een cylindrische trommel, welke door een uurwerk wordt rondgedraaid. Op het papier zijn meestal twee schalen aangebracht (voor tijd en hoogte), waardoor het mogelijk is op elk willekeurig ogenblik de waterstand af te lezen. Deze peilschaal-bladen zijn in de regel volkomen betrouwbaar en kunnen dus door de opnemer gebruikt worden. Contrôle is overigens gemakkelijk genoeg door bij verschillende waterstanden de hoogte op te meten tot een vast punt en door het uurwerk te vergelijken met een goed lopend zakuurwerk. De enige constante correctie, welke men eventueel moet toepassen, is die voor herleiding der aflezingen tot een bepaald reductievlak.

Uit de definities van het vlak van gem. LLWS en gemiddeld havengetal is duidelijk, dat men gewapend met de gegevens, welke uit de waargenomen peilschalen zijn te verkrijgen, en voor zover het gemiddeld havengetal betreft tevens m.b.v. een almanak, het reductievlak en het gemiddeld havengetal voor deze plaatsen kan berekenen. Eveneens is duidelijk, dat men de stand van het reductievlak kan opgeven t.o.v. het N.A.P.-vlak (vast vergelijkingsvlak), doch tevens t.o.v. de middenstand, welke eveneens te berekenen is.

Alhoewel niet afzonderlijk vermeld, zij hier tevens gezegd, dat soortgelijke gegevens werden berekend uit langdurige waarnemingen verricht aan boord van uitliggende lichtschepen. Hier kon echter het reductievlak alleen opgegeven worden t.o.v. middenstand, daar er op deze plaatsen geen N.A.P.-vlak bekend is.

Voor de Belgische en Duitse gegevens werd op overeenkomstige wijze te werk gegaan en de van Belgische en Duitse zijde verstrekte gegevens, elk t.o.v. hun eigen vergelijkingsvlak (zie par. 6.4), werden zo goed mogelijk gecontroleerd en, wat betreft het reductievlak, herleid tot het N.A.P.-vlak.

Vorenstaande gegevens vormen thans de primaire gegevens, dus de ruggegraat, waarop de rest van de reductiekaart, m.b.v. verplaatsbare peilschalen, is opgebouwd.

Alvorens hiervan een nadere uitleg te geven, mogen echter twee opmerkingen gemaakt worden t.w.:

*a.* Het ligt niet in de bedoeling een volledige beschrijving te geven met gevonden waarden. Dit valt buiten het bestek van deze verhandeling, doch deze zijn neergelegd in de bescheiden der opneming op de Afdeling Hydrografie van het Ministerie van Marine.

*b.* Zoals in par. 6.7 reeds opgemerkt, kan het in Nederland gebruikte reductievlak niet in een harmonische notatie worden vastgelegd. Dit heeft één bezwaar, n.l. dat men een reductievlak op een willekeurige plaats slechts kan bepalen door

gelijktijdige waarneming en vergelijk met een standaard peilschaal, waarbij nog als eis geldt, dat beide getijkrommen een gelijk verloop hebben. Dit heeft onder de kust nooit bezwaren opgeleverd, doch men voelt wel, dat men verder in zee werkende op moeilijkheden stuit. Bij het kiezen van dit reductievlak is dit bezwaar echter geaccepteerd, aangezien, zoals werd opgemerkt, de diepten verder in zee van dien aard zijn, dat de grote nauwkeurigheid, waarmee op ondiepten onder de wal moet worden gewerkt, niet zo zeer nodig is.

Zoals reeds werd opgemerkt, worden de overige gegevens voor de reductiekaart verkregen uit verplaatsbare peilschalen. Dit kunnen zijn gewone houten of stalen peilschalen, welke op ondiepten worden opgesteld en afgelezen, of zelfregistrerende peilschalen, welke in dieper water voor een bepaalde tijdsduur worden gelegd. (Voor de beschrijving van de verplaatsbare zelfregistrerende peilschaal Smitt-de Vries zie par. 7.1).

De gegevens der gewone peilschalen zijn:

*a*. Houten peilschaal: lat 15 cm breed, 2 cm dik, 600 cm of 400 cm lang, verdeeld in vakken van 10 cm hoog; alle even vakken zwart geschilderd met witte cijfers en alle oneven vakken wit geschilderd met zwarte cijfers; hoogte cijfers 9 cm.

*b*. Stalen peilschaal: holle buis diam. 3,5 cm, lang 600 cm; bovenzijde buis dicht, onderzijde puntig bijgewerkt; verdeling en cijfers als bij houten peilschaal.

Zij kunnen vastgemaakt worden aan een in zee staand voorwerp (b.v. pier) of gesteund worden door een driepoot, dan wel in de grond geramd worden. Bij veel stroom en bij grote vervallen is schragen van de peilschaal d.m.v. stagen van schiemansgaren, die aan ballastschuitjes worden verankerd, zeer aan te bevelen. In ieder geval dient de peilschaal verticaal te staan. Contrôle hiervan kan o.a. plaats vinden door op twee plaatsen, welke vanuit de peilschaal gezien ongeveer 90° met elkaar verschillen en op enige afstand daarvan verwijderd zijn, een schietlood voor zich te houden en te kijken of de peilschaal hiermee samenvalt.

De keuze van een geschikte plaats voor het opstellen van een peilschaal is van veel belang. Het is duidelijk, dat droogvallen bij lage waterstanden uitgesloten moet zijn. Weet men van de waterbeweging ter plaatse weinig af, dan verdient het aanbeveling de peilschaal omstreeks laagwater te plaatsen, hetgeen bovendien de werkzaamheden bij de opstelling vergemakkelijkt. Is het verval groot, dan kan men genoodzaakt zijn twee peilschalen te plaatsen. Dit zal vooral nodig zijn bij een langzaam aflopende kust, aangezien anders de afstand vanaf de rand van het water wellicht te groot is om duidelijk te kunnen aflezen. Bij gebruik van twee peilschalen is een verticale overlap noodzakelijk, terwijl enkele aflezingen op beide peilschalen gelijktijdig moeten plaatsvinden, teneinde hun relatieve ligging te bepalen.

De tweede overweging bij de keuze van de plaats van een peilschaal, waarvan de aflezingen zullen worden gebruikt voor het reduceren der lodingen is, dat deze dicht bij het lodingterrein moet staan, teneinde verzekerd te zijn, dat de getijbeweging bij de peilschaal en op het terrein gelijk zijn. Verschillen in tijd en verval kunnen reeds op betrekkelijk dicht bij elkaar gelegen plaatsen optreden. Het plaatsen van een hulppeilschaal op het terrein van werkzaamheden en vergelijk met een standaardpeilschaal voor overbrenging reductievlak (zie par. 6.12) verdient dus steeds aanbeveling. Kan geen peilschaal ter plaatse opgesteld worden, dan verdient het aanbeveling ter weerszijden van het te beloden terrein peilschalen te plaatsen en hiertussen te interpoleren.

Een derde vereiste voor een peilschaal is beschutting. Nauwkeurige aflezing is bij golfslag, hetzij door wind dan wel door passerende scheepvaart, niet mogelijk; bovendien is de kans op omvallen groter. Toch moet de uitgezochte plek ten volle toegankelijk zijn voor de zuivere getijbeweging. Men plaatse niet een peilschaal om der wille van vlak water binnen een drempel van een rivier en gaat dan buiten de drempel loden.

Is de peilschaal eenmaal opgesteld, dan is de eerste stap nivelleren op een vast punt aan de wal, teneinde een vergelijkingsvlak te hebben. Periodieke nivelleringen, benevens alvorens de peilschaal weg te halen, zijn nodig om te zien of verzakking (op zachte bodem) of beweging wegens onbekende oorzaak plaats heeft gevonden.

Thans zal worden nagegaan hoe aan de hand van de aflezingen op een hulppeilschaal verdere gegevens te verkrijgen zijn voor vervolmaking van de reductiekaart. Allereerst is het nodig, dat men bij de hulppeilschaal en de standaardpeilschaal gelijktijdige waarnemingen verricht. Voorts moet het getijverloop van beide krommen gelijk zijn, aangezien zij anders niet met elkaar vergeleken mogen worden. Voor de *minimum* duur dezer waarnemingen wordt verwezen naar par. 6.12.

De volgende notaties zullen worden gebruikt:

S = standaardpeilschaal;
H = hulppeilschaal.

Bij de verdere notaties is ermede rekening gehouden, dat alle aflezingen, verricht t.o.v. N.A.P., vermeerderd zijn met een veelvoud van 100, teneinde uitsluitend met positieve getallen te werken, waarbij dan:

$Z_0$ en $z_0$ = aanwijzingen van de officiële middenstanden resp. van S en H;
$Z_w$ en $z_w$ = aanwijzingen van de waargenomen middenstanden resp. van S en H;
$Z_d$ en $z_d$ = aanwijzingen van de dagelijkse middenstanden resp. van S en H;
$M_0$ en $m_0$ = aanwijzingen van de officiële halftijvlakken resp. van S en H;
$M_w$ en $m_w$ = aanwijzingen van de waargenomen halftijvlakken resp. van S en H;
$M_d$ en $m_d$ = aanwijzingen van de dagelijkse halftijvlakken resp. van S en H;
D en d = aanwijzing van het reductievlak resp. van S en H;
$R_w$ en $r_w$ = gemiddeld waargenomen verval resp. bij S en H.

De aandacht wordt erop gevestigd, dat $Z_0$ en $M_0$ hier dus niet de officiële betekenis dezer tekens hebben, zoals vermeld in par. 6.6, n.l. de hoogten der respectievelijke vlakken boven het reductievlak, doch enkel de aanwijzing op de respectievelijke peilschalen voor het betrekkelijke vlak.

Thans wordt uitgegaan van de volgende bekende gegevens:

bij S: de waargenomen getijkromme,
relatieve ligging van N.A.P., $Z_0$, $M_0$ en D,
rijzing boven reductievlak en verval,
gemiddeld havengetal.

bij H: de waargenomen getijkromme.

Gevraagd worden:

bij H: relatieve ligging van N.A.P., $z_0$, $m_0$ en d,
rijzing boven reductievlak en verval,
gemiddeld havengetal.

Aannemende, dat gedurende 15 achtereenvolgende etmalen gelijktijdige uurwaarnemingen zijn verricht bij S en H, wordt thans als volgt te werk gegaan.

1. Is S afgelezen t.o.v. N.A.P., dan worden alle aflezingen met een veelvoud van 100 vermeerderd, teneinde uitsluitend met positieve getallen te kunnen werken.
2. Zet op millimeterpapier een X-as (tevens als N.A.P. vlak te beschouwen) en verdeel deze in gelijke stukken (b.v. 20 mm), voorstellende de volle uren.
3. Zet op de Y-as, b.v. op schaal 1 : 10, om de 10 centimeter met N.A.P. als nul de waarden en wel positief naar boven en negatief naar beneden, benevens de positieve getallen genoemd sub 1.
4. Zet de uuraflezingen van S af en verbindt deze door een vloeiende kromme lijn in inkt.
5. Lees uit kromme S af de hoogten van HW en LW (beide gelijk aantal; positieve getallen) en neem hiervan het gemiddelde, gevende $M_w$.
6. De som van alle uurwaarnemingen S, gedeeld door het aantal uurwaarnemingen, geeft $Z_w$.
7. Bepaal voor S voor elk etmaal door middelen van de 24 uuraflezingen $Z_d$.
8. Bepaal voor H voor dezelfde dagen uit de peilschaalaflezingen $z_d$ (voor zover H een prikkerpeilschaal is, zal men eerst de hoogten der prikken dienen om te zetten in waterhoogten, met inachtneming van de correctie voor het s.g. van het zeewater, benevens de correcties voor barometerstand en temperatuurverschillen moeten toepassen; zie par. 6.18).
9. Bepaal voor elk etmaal het verschil $z_d$—$Z_d$ en zet deze verschillen in een grafiek af. Vervang een eventuele slingerende grafiek door een gemiddelde rechte of gebroken lijn.
   Is H niet verzakt, dan is de lijn horizontaal en ongebroken. Is H regelmatig verzakt, dan is de lijn oplopend en recht. Is H onregelmatig verzakt, dan is de lijn oplopend en gebroken.
   Uit de mate van de helling kan de verzakking en de verzakkingscorrectie eventueel van uur tot uur worden gevonden. Afhankelijk van de helling zal meestal kunnen worden volstaan met het toepassen van gelijke correcties voor 3, 6 of 12 uur.
10. Corrigeer de uuraflezingen van H voor deze verzakking en bepaal voor deze gecorrigeerde waarnemingen $z_w$.
11. Voor contrôle van de juistheid der aflezingen van H kan men nu tijdelijk aannemen, dat $z_w$ en $Z_w$ samenvallen en de kromme van H in potlood in de grafiek afzetten. Alsdan kan de kromme eventueel bijgeschaafd worden voor uitbijters in de aflezingen, terwijl men tevens het verloop der getijkrommen S en H beter kan vergelijken. Over het algemeen zullen de bijgeschaafde aflezingen geen wijziging brengen in $z_w$.
12. Thans dient de juiste onderlinge ligging der twee krommen bepaald te worden, waartoe 3 gevallen onderscheiden worden, t.w.:
    *a.* het N.A.P.-vlak is op H bekend (b.v. overgebracht door nivellering);
    *b.* het N.A.P.-vlak is op H niet bekend, doch het middenstandsverhang (zie par. 6.2) met S wel;

*c.* het N.A.P.-vlak op H en het middenstandsverhang t.o.v. S zijn beide onbekend.

Deze gevallen zullen elk afzonderlijk behandeld worden.

13. Geval sub 12*a*. Berekend zijn reeds $M_w$ (punt 5), $Z_w$ (punt 6) en $z_w$ (punt 10). Voorts is te berekenen $m_w$. Aangezien het N.A.P.-vlak op S en op H bekend is, is tevens de ligging van voornoemde vlakken t.o.v. N.A.P., benevens de onderlinge ligging bekend. De ligging van het horizontale N.A.P.-vlak is voor beide peilschalen gelijk. Past men thans op $z_w$ t.o.v. N.A.P. toe het verschil tussen $Z_w$ en $Z_0$, dan verkrijgt met $z_0$ t.o.v. N.A.P. Het middenstandsverhang, dat reeds tot uiting kwam in het verschil tussen $Z_w$ en $z_w$ (beide t.o.v. N.A.P.), blijft dus behouden en vindt men terug in het verschil in ligging der beide vlakken $Z_0$ en $z_0$.
Voor het bepalen van $m_0$ wordt uitgegaan van de veronderstelling (welke in de practijk juist is gebleken te zijn), dat een verschil tussen de ligging van $Z_w$ en $Z_0$ gepaard gaat met een gelijk verschil tussen $M_w$ en $M_0$. De ligging van $M_0$ wordt door de R.W.S. opgegeven t.o.v. $Z_0$. Teneinde nu de $m_0$ te bepalen, worden voor de serie bepaald $M_w$ — $Z_w$ en $m_w$ — $z_w$. Eerstgenoemd verschil zal in het algemeen een klein bedrag afwijken van het verschil $M_0$ — $Z_0$. Dit kleine bedrag dient met teken toegepast te worden op het verschil $m_w$ — $z_w$, teneinde $m_0$ — $z_0$ te krijgen. Aangezien de ligging van $z_0$ t.o.v. N.A.P. berekend is, kan men ook $m_0$ t.o.v. N.A.P. afleiden.

14. Geval 12*b*. Berekend zijn reeds $M_w$ (punt 5) en $Z_w$ (punt 6), waarvan de ligging t.o.v. N.A.P. uitgedrukt kan worden. Voorts is $z_w$ (punt 10) berekend, terwijl $m_w$ alsnog berekend wordt. In dit geval is niet bekend de ligging van N.A.P. op H. Voor het vergelijk van de waterbewegingen bij S en bij H wordt thans een verband gelegd tussen de middenstandsvlakken der beide peilschalen. Aangenomen wordt, dat een eventueel door het middenstandsverhang bestaand verschil in ligging tussen $z_0$ en $Z_0$ tevens geldt voor $z_w$ en $Z_w$. Op de ligging van $Z_w$ t.o.v. N.A.P. wordt dus het middenstandsverhang met teken toegepast, waardoor men $z_w$ t.o.v. N.A.P. krijgt. Het bedrag, dat $z_w$ onder (boven) N.A.P. ligt, dient men op te tellen bij (af te trekken van) de peilschaalaflezing van $z_w$ om bij H te vinden de peilschaalaanwijzing voor het N.A.P.-vlak. Voorts wordt het verschil $Z_w$—$Z_0$ toegepast op $z_w$, waardoor men $z_0$ t.o.v. N.A.P. verkrijgt. Het is duidelijk, dat men bij al deze bewerkingen zeer voorzichtig moet zijn met het gebruik der tekens i.v.m. de onderlinge ligging der verschillende vlakken, zodat het maken van een natuurgetrouwe tekening alleszins aanbeveling verdient.
Voor het bepalen van $m_0$ gaat men op dezelfde wijze te werk als vermeld in de tweede alinea van punt 13.

15. Geval sub 12*c*. Berekend zijn reeds $M_w$ (punt 5) en $Z_w$ (punt 6), waarvan de ligging t.o.v. N.A.P. uitgedrukt kan worden. Voorts is $z_w$ (punt 10) berekend, terwijl $m_w$ ook berekend kan worden. Onbekend zijn N.A.P. op H en het middenstandsverhang tussen S en H. In dit geval wordt aangenomen, dat $z_0 = Z_0$ en tevens $z_w = Z_w$. Men stelt thans de peilschaalaflezing $z_w$ gelijk aan de ligging van $Z_w$ t.o.v. N.A.P., waaruit is af te leiden de aanwijzing bij H voor N.A.P.. Voorts wordt $z_0$ gevonden door op $z_w$ toe te passen het verschil $Z_0$ — $Z_w$ (denk om de tekens).

Voor de bepaling van $m_o$ gaat men op dezelfde wijze te werk als vermeld in de tweede alinea van punt 13.

16. Het N.A.P.-vlak, dat voor S en H hetzelfde vlak is, is thans op beide peilschalen bekend. De in potlood getekende kromme van H (zie punt 11) kan nu eventueel op of neer bewogen worden om de twee N.A.P. vlakken te doen samenvallen, waarna de kromme in inkt gezet kan worden.

17. Uit de afgelezen waterstanden van HW en LW, welke aflezingen reeds gebruikt zijn voor het bepalen van $M_w$ en $m_w$, kan men thans berekenen $R_w$ en $r_w$, hetzij voor het gehele tijdvak van waarneming, dan wel voor een bepaalde periode b.v. springtij (eerste drie etmalen na volle en nieuwe maan) of doodtij (eerste drie etmalen na kwartierstanden).

18. Waar verder D t.o.v. N.A.P. bekend is en nu tot de gewone peilschaalaflezing is te herleiden, vindt men het reductievlak bij H met behulp van de formule, genoemd in par. 6.12, n.l.

$$d = m_o - \frac{r_w}{R_w}(M_o - D).$$

Men krijgt d als peilschaalaflezing en kan dit gemakkelijk uitdrukken t.o.v. N.A.P.

19. De rijzing boven het reductievlak bij springtij en bij doodtij is gelijk aan de som van ligging van het halftijvlak boven het reductievlak ($m_o$ — d) en de stijging boven eerstgenoemd vlak, dus

$$\text{rijzing bij H} = (m_o - d) + \frac{r_w}{R_w}[\text{rijzing bij S} - (M_o - D)].$$

Voor de verhouding der vervallen neme men die der springtijden dan wel doodtijden, naar gelang de rijzing bij springtij dan wel doodtij gezocht wordt.

20. Evenens vindt men:

$$\text{verval bij H} = \frac{r_w}{R_w} \times \text{verval bij S}.$$

Voor de verhouding der vervallen gedurende de waarneming geldt wederom het vermelde sub 19.

21. Voor het gemiddeld havengetal leest men de tijden van HW, LW en passeren middenstand (zowel bij rijzend als bij vallend water) voor S en voor H af. Het verschil van de tijden der overeenkomstige waterstanden bij S en H wordt bepaald. Het gevonden gemiddelde verschil in tijd voor HW (LW) wordt toegepast op het bekende gemiddelde havengetal voor HW (LW) van S, waardoor men de waarde krijgt voor H. Hierbij zij opgemerkt, dat $12^u\ 25^m$ gelijk staat met $0^u$.
De gemiddelde verschillen voor de tijden van passeren middenstand dienen alleen voor ruwe contrôle op de uitkomsten.

Op deze wijze verkrijgt men de secundaire gegevens voor de reductiekaart, welke gegevens dus gebaseerd zijn op vergelijking van peilschalen, welke gedurende 15 etmalen of langer regelmatig en gelijktijdig zijn waargenomen.

Het spreekt vanzelf, dat de tertiaire gegevens, welke verkregen worden uit

series van kortere duur slechts van nut kunnen zijn voor contrôle dan wel als hulpmiddel voor het trekken der lijnen van gelijk reductievlak en van gelijk havengetal. Zij vormen slechts een benadering van deze waarden. Voorts zullen afhankelijk van de duur der kortere series, slechts enkele der gevraagde gegevens benaderd kunnen worden.

Tenslotte zij opgemerkt, dat, indien zulks noodzakelijk zou blijken te zijn, op de duur bij bestudering van alle bekende gegevens, een benadering van een harmonische notatie voor het reductievlak van gem. LLWS (in de geest van par. 6.11 sub (1) of (6)) wel mogelijk zal zijn. Het spreekt echter vanzelf, dat de tot nu toe gevolgde werkwijze nauwkeuriger is.

### 6.15 Bepaling reductievlak Oost-Indische Archipel, Suriname en Ned. Antillen

Het bepalen van het vlak van LWS (zie par. 6.8) is een vrij omvangrijke becijfering, welke afzonderlijk behandeld wordt in par. 3.6 en 10.3.

### 6.16 Reduceren

Het reduceren van gedane lodingen, d.w.z. het herleiden van waargenomen diepten tot kaartdiepten, vindt zo enigszins mogelijk plaats op gegevens verkregen uit een hulppeilschaal, welke op het terrein van werkzaamheden is geplaatst. De aflezingen dienen om het half uur plaats te vinden, terwijl meerdere aflezingen (b.v. om de 10 minuten) nodig zijn nabij de hoog- en laagwaters.

Ook thans heeft vergelijk plaats, hetzij met een standaardpeilschaal, dan wel met een getijkromme, welke uit constanten van een nabijgelegen plaats met gelijk getijkarakter berekend is. Aangenomen wordt, dat het reductievlak van de hulppeilschaal en dat van de plaats, waarmee vergeleken wordt (eenvoudigheidshalve standaardpeilschaal te noemen), gelijk is. De waarnemingen op de hulppeilschaal moeten in ieder geval een HW en een LW bevatten.

Men zet nu de standaardkromme benevens het reductievlak op millimeterpapier af. De kromme van de hulppeilschaal moet thans volgens dezelfde tijdas zodanig afgezet worden, dat de hoog- en laagwaters evenveel buiten of binnen die van de standaardpeilschaal vallen, m.a.w. men legt de krommen met de halftijvlakken op elkaar. De enige uitzondering hierop vormt de Waddenzee, waar men de laagwaters van beide krommen op elkaar moet leggen of evenveel uit elkaar als het verschil in reductievlak van standaard- en hulppeilschaal bedraagt.

De te gebruiken reductie wordt nu bij elke wijziging van 1 dm met de bijbehorende tijd afgelezen. Bij vallend water wordt een reductie aangehouden, totdat deze 1 dm minder wordt, terwijl bij rijzend water men de naasthogere reductie toepast, zodra deze meer bedraagt dan de in gebruik zijnde, m.a.w. de reducties worden naar boven afgerond in decimeters, dus de diepten naar de kleine kant.

Valt een getijkromme door meteorologische of andere toevallige omstandigheden beneden het reductievlak, dan wordt met een positief bedrag gereduceerd, d.w.z. een bedrag opgeteld bij de gedane loding.

Is het niet mogelijk een hulppeilschaal te plaatsen, dan wordt de toe te passen reductie zo goed mogelijk benaderd door op een waargenomen kromme van een standaardpeilschaal, dan wel een berekende kromme voor een nabijgelegen plaats, correcties toe te passen voor tijdsverschil en verhouding van vervallen (amplituden).

Deze correcties zijn voor verschillende plaatsen in zee op de Nederlandse kust bekend en staan opgegeven in de bescheiden voor opnemingen te verrichten door Hydrografie.

### 6.17 Herleiding van kaartdiepten tot die van een bepaald ogenblik

De kaartdiepte staat opgegeven t.o.v. het gebezigde reductievlak. Het is voor de zeeman nodig het verloop der getijbeweging te kennen, teneinde te weten hoeveel water er in een vaarwater of op een drempel op verschillende uren verwacht kan worden. Hiervoor bestaan verschillende mogelijkheden.

1. *In Nederland.*

*a.* Door gebruik van de Zeemansgids voor de Nederlandse kust. Men vindt hierin in een afzonderlijke tabel voor verschillende plaatsen het gemiddeld havengetal (dus voor de dag van springtij), benevens een correctie, welke toegepast moet worden voor de invloed van het zonsgetij $S_2$ op andere dagen dan die van springtij.
Men zoekt dus op de Pl. M.T. van maansdoorgang (in een almanak) en met dit als argument de correctie en krijgt dan:

tijd van HW = maansdoorgangstijd + gem. havengetal + correctie;

tijd van LW = tijd van HW + $6^u,2$.

Tevens is opgegeven het verval bij springtij en bij doodtij. Om het verval voor een andere dag te vinden, moet men interpoleren. Is het n dagen na springtij, dan is

$$\text{Verval} = \text{verval springtij} - \frac{n}{7} \times \text{verschil verval spring- en doodtij.}$$

Evenzo n dagen na doodtij

$$\text{Verval} = \text{verval doodtij} + \frac{n}{7} \times \text{verschil verval spring- en doodtij.}$$

Men moet hiervoor weten de dagen van springtij en doodtij. Zoek hiervoor in een almanak (of de Zeemansgids) de dichtst bij de gewenste datum liggende dag van volle of nieuwe maan en tel hierbij op de leeftijd van het getij, welke 2 dagen is. Doodtij ligt hier 7 dagen vóór of na.
De waterstand op het tijdstip van HW en LW op de bedoelde dag wordt dan

HW = kaartdiepte + middenstand [1]) boven reductievlak + $\frac{1}{2}$ verval

LW = kaartdiepte + middenstand [1]) boven reductievlak — $\frac{1}{2}$ verval.

Betreft de kaartdiepte een drempel, dan dient de diepte uit de Dieptestaat genomen te worden. De ligging van de middenstand t.o.v. het reductievlak vindt men tevens in de Zeemansgids.
Wil men de waterstand weten voor een bepaald tijdsverloop vóór of na HW of LW, dan zoekt men in dezelfde tabel op, hoeveel het water in dit tijdsverloop is gedaald of gestegen, eventueel interpolerende voor een dag, gelegen tussen de dagen van springtij en doodtij. De aldus gevonden stijging of daling moet dan weer bij de LW stand opgeteld of van de HW stand afgetrokken worden.

---

[1]) Feitelijk dient men hiervoor te nemen halftij.

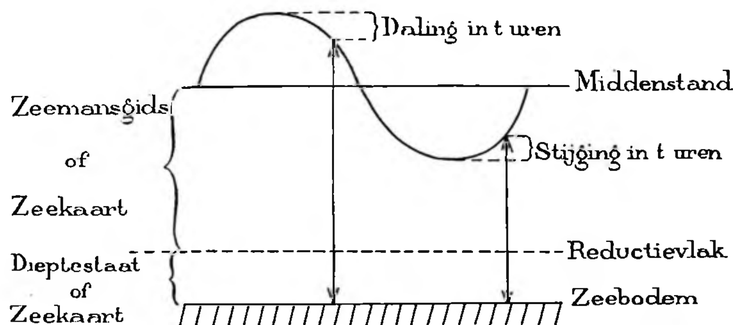


Fig. 6.2

*b.* Door gebruik van de Getijtafels voor Nederland, bewerkt bij de Directie Algemene Dienst van de R.W.S., welke tafel de tijdstippen en de waterstanden t.o.v. N.A.P. geeft voor HW en LW op verschillende plaatsen. Bovendien vindt men verschillende gemiddelde havengetallen, reductievlakken t.o.v. N.A.P. en tijdcorrecties, toe te passen op de tijden van HW en LW van enkele standaardplaatsen in de Waddenzee en de Zeeuwse en Zuid-Hollandse stromen, teneinde die van andere plaatsen te vinden.

Aangezien de waterhoogten staan opgegeven t.o.v. N.A.P., zal het duidelijk zijn, dat HW standen een positief en LW standen een negatief bedrag geven. Men krijgt dus voor een bepaalde plaats:

Stand bij HW en LW = kaartdiepte + N.A.P. t.o.v. reductievlak + waterhoogte t.o.v. N.A.P.

Ook hier geldt, dat men nauwkeuriger werkt door, in plaats van de kaartdiepte, de diepte uit de Dieptestaat te nemen.

Voor de waterstand op een willekeurig ogenblik kan men of rechtlijnig voor

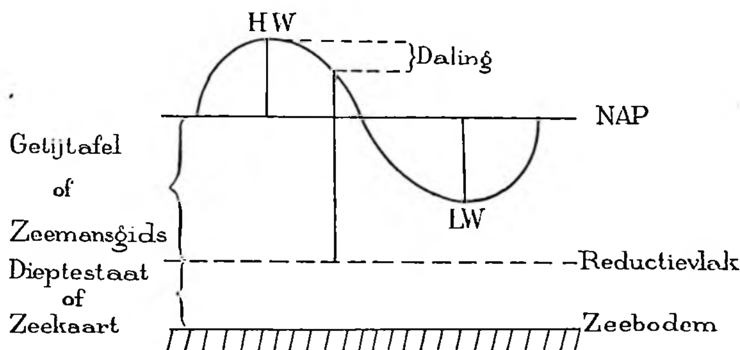


Fig. 6.3

het aantal uren interpoleren, dan wel gebruik maken van de gegevens betreffende stijging en daling uit de Zeemansgids, welke laatste methode onder *a* besproken werd en nauwkeuriger is.

*c.* Ten slotte kan de waterbeweging d.m.v. de constanten berekend worden. Het gevonden verloop geldt t.o.v. middenstand. Het verschil in ligging van middenstand en reductievlak vindt men op de kaarten van de Nederlandse zeegaten aangegeven, terwijl men het tevens afleiden kan uit de gegevens in de Zeemansgids.

2. *In de Oost-Indische Archipel, Suriname en de Ned. Antillen.*

*a.* Ook hier kan de sub 1*c* genoemde weg gevolgd worden. De afstand tussen middenstand en reductievlak komt, behalve op de betrokken kaart op grote schaal, ook voor in de lijst van getijconstanten achterin de Zeemansgids.

*b.* Door gebruik te maken van de in de Zeemansgids voorkomende getijbeschrijvingen, welke opzettelijk eenvoudig zijn gehouden, teneinde mogelijk te maken snel een globaal overzicht te verkrijgen van de te verwachten waterstanden. Grotere nauwkeurigheid is niet te bereiken zonder de getijbeschrijvingen veel ingewikkelder te doen zijn, hetgeen hunne toepassing aanzienlijk omslachtiger zou maken. Voor het gebruik van de getijbeschrijving wordt verwezen naar par. 3.7.

*c.* De nauwkeurigste wijze is door gebruik te maken van de getijtafels, welke de waterstanden opgeven t.o.v. het reductievlak der kaart.
Het bedrag, voor het gewenste tijdstip gevonden, dient dus rechtstreeks bij de kaartdiepte te worden opgeteld.

# VII. INSTRUMENTEN

## 7.1 Getijmeters

Behalve van de z.g. registrerende peilschalen van de R.W.S., waarvan een zeer summiere beschrijving is gegeven in par. 6.14, wordt door de Hydrografische Dienst in Nederland voor het registreren van de werkelijke waterbeweging gebruik gemaakt van de z.g. prikker-peilschaal Smitt 1940, welke gelegd kan worden in diepten van 0—40 m. Men kan n.l. door middel van tegenspanningsveren bewerkstelligen, dat het instrument b.v. eerst op 20 m diepte begint te werken. Het toestel kan gedurende ruim een maand onafgebroken registreren, terwijl het geschikt is voor een maximum verval van ruim 10 m.

Voor een uitgebreide beschrijving van het instrument wordt verwezen naar de bestaande werken op de Afdeling Hydrografie van het Ministerie van Marine, welke werken echter niet in de handel zijn. Een korte uiteenzetting van dit toestel, waarmede buitengaats zulke waardevolle gegevens betreffende de verticale getijbeweging verkregen kunnen worden, is hier echter wel op haar plaats.

Deze getijmeter bestaat uit een gietstalen kast, die afgesloten kan worden door een deksel. Dit kan met bouten waterdicht op de kast worden bevestigd.

De waterdruk wordt door een opening overgebracht op een bourdonveer. De beweging van deze veer wordt door middel van een wijzer vergroot overgebracht op een rol registreerpapier, waarbij elk half uur de wijzerpen door een slagraam in het papier wordt geslagen. Dit slagraam wordt gecommandeerd door een electrisch uurwerk, dat gevoed wordt door een stel batterijen. Bij iedere prik schuift het papier iets op.

De nauwkeurigheid van het instrument is bij juiste toepassing der verschillende correcties te stellen op 1 dm (verschil in waterhoogte), terwijl de tijdsaanduiding van het electrisch uurwerk uitmuntend is. De bedrijfszekerheid is momenteel te stellen op 75 %, welke ongetwijfeld in de toekomst opgevoerd zal worden. Vooralsnog wordt echter aanbevolen steeds twee getijmeters tegelijk te leggen.

Elke 6 uur wordt door een aparte contactinrichting een extra prik gegeven, waardoor fouten kunnen worden gelocaliseerd.

Het instrument kan worden getest met behulp van het diepingsinstrument „Verificatie" (hetgeen bij stilliggend schip aan boord kan geschieden), door middel van een kwikmanometer of door het afvieren van het instrument onder water op bekende diepten, indien er geen stroom staat. Dit testen is nodig gebleken, daar de spanningen van de bourdonveer en de tegenspanningsveren zich na verloop van tijd wijzigen. Bij dit ijken met behulp van een diepingsinstrument of op één der andere aangegeven methoden wordt een zekere druk op het instrument gebracht, welke druk overeenkomt met een bepaalde waterhoogte. Worden de hoogten der prikken afgelezen t.o.v. de afleeslijn en met de corresponderende waterhoogten afgezet in een grafiek, waarin op de Y-as en op de X-as respectievelijk deze hoogten worden aangegeven, dan kan men door een lijn door de gevonden waarden te trekken de z.g. diepingslijn verkrijgen.

Daar de kast een afgesloten geheel vormt, zullen wisselingen in barometerstand en temperatuur variaties in de aanwijzingen veroorzaken.

Door middel van een barograaf aan boord van het opnemingsvaartuig en door metingen van de temperatuur van het zeewater, b.v. bij eb en bij vloed, kan een inzicht worden verkregen in de correcties, welke moeten worden toegepast.

Wijzigingen in soortelijk gewicht zeewater kunnen belangrijke foutieve aanwijzingen geven. Is het soortelijk gewicht bij eb anders dan bij vloed, dan zijn de fouten evenredig met de diepte, waarop het instrument is gelegd. Wijzigingen in soortelijk gewicht komen bij rivieringangen dikwijls voor. Zijn s.g. bij eb en bij vloed hetzelfde, doch wordt een foutief s.g. toegepast, dan zijn de fouten evenredig met het verval en dus niet van ernstige aard. Het is dus zaak, vooral bij rivieringangen, om de instrumenten niet te diep te leggen, indien mogelijk.

Het is gebleken, dat, als de waterkolom boven het instrument te gering is, bijv. 3—4 meter, het instrument minder juiste aanwijzingen geeft, doordat de bourdonveer niet voldoende gefixeerd is. Een diepte van 5—10 meter water wordt aanbevolen.

Wat betreft het bepalen der gegevens, benodigd voor de reductiekaart, uit een getijkromme, verkregen met behulp van een prikker-peilschaal, kan in algemene trekken verwezen worden naar par. 6.14. Alvorens echter gebruik te maken van de afgelezen prikken, welke slechts de hoogten dezer prikken zijn in millimeters boven de afleeslijn, dienen deze hoogten omgezet te worden in waterhoogten. Hierbij onderscheidt men vijf bewerkingen t.w.:

(1) omzetting van afgelezen hoogten in waterhoogten met inachtneming van de correctie voor het *s.g. van het zeewater*;

(2) toepassing van de correctie voor *barometer*stand;

(3) toepassing van de correctie voor *temperatuurs*verschillen,

(4) afzetten van de kromme en zo nodig bijschaven voor minder juiste aanwijzingen als gevolg van *minder gunstige weersomstandigheden*;

(5) berekenen van de dagelijkse middenstanden voor het toepassen van een eventuele correctie voor *verzakking*.

Eerst nadat men al deze bewerkingen verricht heeft, is de kromme — en daarmede zijn dus ook de uuraflezingen — geschikt voor verder gebruik als aangegeven in par. 6.14 voor een gewone hulppeilschaal.

Het herleiden van de millimeterhoogten tot waterhoogten geschiedt met behulp van een grafiek, die aan testing is ontleend. Deze grafiek is meestal gemaakt voor een s.g. van 1,00 (zie fig. 7.1). Bij ander s.g., b.v. 1,02, moeten de waterhoogten, verkregen met een s.g. 1,00, gedeeld worden door 1,02. Men kan dit in de grafiek tot uiting brengen door, zoals in de figuur is aangegeven, een diepinglijn te trekken met de bij dit soortelijk gewicht passende helling.

Op de aldus verkregen waterhoogten past men toe de correcties voor de barometerstand. Bij verhoging (verlaging) van de luchtdruk zal het gesloten instrument te veel (te weinig) aanwijzen, waarbij 1 millibar verschil in luchtdruk een wijziging in waterhoogte van 1 cm geeft. Hiermede worden de waterhoogten herleid tot een vaste barometerstand van het begin van de serie of b.v. van 1000 mb.

Vervolgens worden de correcties toegepast voor wijzigingen in de temperatuur van het zeewater. Bij verhoging (verlaging) van temperatuur zal het gesloten instrument te weinig (te veel) aanwijzen door de hogere (lagere) tegendruk in het toestel. Deze correctie bedraagt, voor 1° C wijziging in temperatuur 4 cm waterhoogte. Zodoende kunnen de waterhoogten ook hiervoor herleid worden tot een bepaalde standaardtemperatuur.

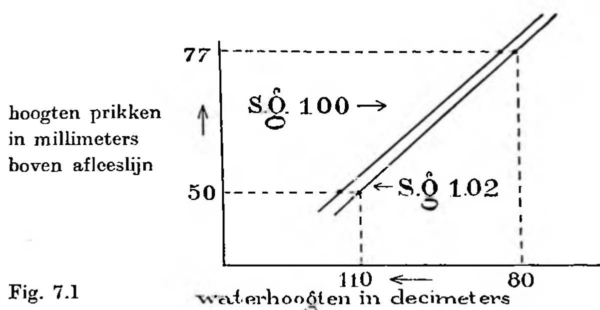



Fig. 7.1

Hierna kan men overgaan tot het afzetten en zo nodig bijschaven van de kromme.

Niet altijd zal men echter kunnen beschikken over de barometer- en temperatuurgegevens. Heeft men deze niet, dan zullen eventuele invloeden van wisselingen in luchtdruk en temperatuur toch grotendeels geëlimineerd worden bij het toepassen van de correctie voor de verzakking, hetgeen reeds in par. 6.14 besproken is. Men verlieze echter niet uit het oog, dat deze verzakking slechts te constateren is bij vergelijk met een standaardpeilschaal, dan wel een gewone peilschaal, waarvan met zekerheid gezegd kan worden, dat bij deze peilschaal geen verzakking heeft plaats gehad. Immers, het kan voorkomen, dat gedurende een korte serie de middenstand regelmatig hoger wordt. Heeft men dan geen vergelijk met een peilschaal, waarvan men zeker weet, dat geen verzakking heeft plaats gehad, dan zou men onwillekeurig hiervoor gaan corrigeren, hetgeen in dit geval niet juist zou zijn. Is dit vergelijk uitgesloten, dan zullen de waarnemingen van temperatuur en barometerstand dus noodzakelijk zijn.

Naar aanleiding hiervan wordt nog het volgende opgemerkt betreffende het gebruik van dit toestel bij de hydrografische opnemingen in de Oost-Indische Archipel. Als regel zijn de wisselingen in luchtdruk en in de temperatuur van het zeewater hier gering. Het verdient aanbeveling het instrument zo mogelijk op rifgrond te leggen. Is dit niet mogelijk, dan dient zo enigszins mogelijk een vaste peilschaal, welke aan het begin en einde der serie genivelleerd wordt, in de buurt opgesteld te worden. Waarneming van enige HW's en LW's aan het begin en einde der serie zal dan, vergeleken met de aanwijzingen van het toestel, inzicht geven in de verzakking van het instrument. Voorts zal het vooral b.v. bij riviermondingen noodzakelijk zijn het s.g. van het zeewater te controleren bij verschillend tij.

### 7.2 Stroommetingen

Het verkrijgen van nauwkeurige stroommetingen is niet eenvoudig, aangezien de waarnemingen gedaan moeten worden vanaf een drijvend voorwerp, dat zelf onderhevig is aan bewegingen ten gevolge van de stroom. Waarschijnlijk is de oudste methode, welke gebruikt werd, het gissen buiten boord, bestaande uit het opnemen van de tijd, welke een houtje nodig heeft om over een bepaalde afstand aan dek afgezet, langszij van het schip voorbij te drijven. De richting werd tegengesteld genomen aan de voorliggende koers van het schip.

Een verbeterde methode deed haar intrede met de handlog en niettegenstaande alle vooruitgang van de techniek, wordt deze methode thans nog beschouwd als te zijn de meest zekere en nauwkeurige. Voor een nadere omschrijving van de uitvoering en het gebruik van de handlog aan boord van Hr. Ms. opnemingsvaartuigen in de Oost-Indische Archipel wordt verwezen naar par. 7.4.

Wat betreft het gissen buitenboord wordt nog het volgende vermeld. De waarnemingen worden gedaan vanaf een ten anker liggend schip, zodat men de relatieve beweging krijgt van het voorwerp t.o.v. het schip. Deze waarnemingen kunnen dus alleen van waarde zijn als het schip op de stroom ligt. Met sterke wind dwars op het schip of tegen de stroom in zijn de scheepsbewegingen van die aard, dat de gedane waarnemingen waardeloos zijn.

Bestaat de mogelijkheid om nauwkeurig de plaats te bepalen, dan kan men ook een sloep laten afdrijven en van tijd tot tijd een snellius nemen.

Ter voorkoming van windinvloeden kan men nog beter een klein drijvend voorwerp in een sloep volgen en regelmatig de plaats bepalen.

Buiten zicht van land kan men een boei verankeren en vanuit de sloep naast het drijvende voorwerp richting en afstand bepalen tot de boei.

## 7.3 Stroommeters

De stroom kan ook gemeten worden met speciaal daartoe vervaardigde instrumenten, welke in velerlei uitvoering voorkomen. Sommige geven een permanente registratie van de stroomrichting en snelheid; andere worden voor elke waarneming tot de gewenste diepte neergelaten en daarna voor de aflezing weer opgehaald. Alle stroommeters hebben als middel om de stroomrichting aan te geven een lange vin of staart.

De snelheidsmeting is vrij eenvoudig vergeleken bij die der richting. Er bestaan twee methoden, n.l. het registreren van het aantal omwentelingen van een draaiende schroef of de afwijking van een drukplaat.

Het tellen van het aantal omwentelingen kan geschieden door een soort kilometerteller als op een fiets, welke door een speciaal instrument in en buiten werking gesteld kan worden, of electrisch door het tikken in een telefoon, waarvan de leiding een deel vormt van de ophangkabel. Het aantal methoden om de omwentelingen te tellen en op een draaiende trommel te registreren is zeer talrijk.

Wat betreft het registreren van de druk op een plaat wordt opgemerkt, dat deze evenredig is met het kwadraat van de stroomsnelheid. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van een Bourdon buis of van de bewegingen van een plaat, welke onder invloed van de zwaartekracht verticaal hangt, welke bewegingen geregistreerd worden op een draaiende trommel. De drukplaat kan echter ook de vorm hebben van een schroef, waarvan het ronddraaien belet wordt door veren. De druk wordt dan gebruikt om langs electrische weg een wijzer van een galvanometer aan boord te doen bewegen.

Voor de stroomrichting wordt meestal gebruik gemaakt van een magnetisch kompas; het gyro-kompas schijnt hiervoor niet gebruikt te worden. De bewegingen van de kompasnaald worden op een trommel geregistreerd; echter zij opgemerkt, dat de magnetische kracht van een dergelijke naald zeer klein is.

Vele vernuftige instrumenten zijn gemaakt om zowel de richting als de snelheid van de stroom aan te geven door middel van kleine stalen kogels. Deze bevinden

zich in een bak. Naar gelang van het aantal omwentelingen van de schroef vallen zij, geleid door een koker bevestigd aan de kompasnaald, in een bepaald compartiment van een schaal. Het aantal kogels in een bepaald compartiment geeft zowel de stroomrichting als de snelheid aan.

Aan deze stroommeters zijn vele bezwaren verbonden, waarvan slechts de volgende genoemd worden:

*a.* gebruik is slechts mogelijk in vaarwaters, waar schip of boei verankerd kan worden;

*b.* mogelijkheid op onklaar raken of beschadiging bij draaien van de stroom;

*c.* de snelheidsmeter moet vóór gebruik geijkt worden;

*d.* de afwijkingen van de magneetnaald, indien te dicht bij het schip opgehangen;

*e.* vuil worden en onklaar raken door aanwezigheid van zeewier e.d.;

*f.* de meter geeft aan de resultante van de bewegingen van het water en de overgebrachte beweging van het schip op de meter.

Men ziet uit deze opsomming, dat de toestellen verre van ideaal zijn.

Aangezien zij dan ook niet door Hydrografie gebruikt worden, heeft het weinig nut deze instrumenten uitvoerig te behandelen. Hiervoor zij verwezen naar de beschrijvingen, welke bij de respectievelijke stroommeters verstrekt worden. De meest gebruikelijke zijn die van Jacobson, Ott (beide in gebruik bij de R.W.S., waarbij de eerste gebruikt wordt voor de stroomrichting en de tweede voor de snelheid), Wollaston (maximum stroomsterkte zes mijl), Rauschelbach, Petterson (diepzee stroommeter), Ekman (maximum stroomsterkte 3—3½ mijl), Caruthers en de Roberts radio stroommeter.

### 7.4 Wijze van waarneming met de log Orion

De waarnemingen worden verricht vanaf een verankerd scheepje, welks plaats gekozen is in het volle van de stroom, zodat de invloed van neerstroom voorkomen wordt. Om verdrijven te voorkomen is een zware verankering (gekat anker) noodzakelijk, terwijl zo mogelijk in een merklijn geankerd wordt.

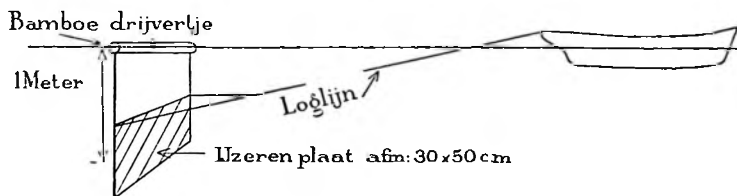



Fig. 7.2

*De stroomsnelheid* wordt ieder uur gemeten door een log volgens bovenstaand model van het achterschip te laten uitlopen. Doordat de stroombepalende weerstand onder water zit, hebben windvang en oppervlakte-winddrift hierop practisch geen invloed.

De loglijn moet los opgeschoten aan dek liggen en met zo weinig mogelijk wrijving uitlopen. Een voorloop van 15 m is noodzakelijk om de log buiten de stroomwielingen, welke kunnen ontstaan nabij het achterschip, te brengen. Zodra het eerste knoopje passeert, noteert men de tijd (stophorloge). Een verdeling der loglijn in stukken van 12,35 m geeft bij een waarnemingstijd van 4 min. direct voor het aantal uitgelopen knoopjes hetzelfde aantal tienden van mijlen stroom per uur.

Bij sterke stroom gebruikt men een loglijn, welke om de 3,09 m gemerkt is, waarbij het aantal uitgelopen knopen (na het aanvangsknoopje) per minuut eveneens het aantal tienden van mijlen stroom per uur geeft. Deze waarnemingen worden elk uur driemaal na elkaar verricht, met dien verstande, dat de middelste waarneming op het hele uur valt, waarna deze drie waarnemingen gemiddeld worden; mogelijke vergissingen kunnen op deze wijze achterhaald worden.

De *stroomrichting* wordt bepaald door vanaf het achterschip de log te peilen, eveneens driemaal, door middel van een kompas nabij de plaats waar de loglijn buitenboord loopt. Het peilen geschiedt na de stroomsnelheidsbepaling, dus nadat de log is uitgelopen. De aandacht wordt erop gevestigd, dat door gieren van het vaartuig de gepeilde richting minder juist de stroomrichting kan weergeven, vooral indien — zoals dikwijls geschiedt — instede van de log de buitenboord uitlopende loglijn gepeild wordt. Hoewel dit in straten, waar de stroomrichting voldoende bepaald wordt door de richting van de straat, niet zo zeer van belang is, dient deze mogelijkheid van fouten vermeden te worden, als de stroom ronddraait. Men verkleint deze fouten voldoende door nimmer de richting der loglijn, maar altijd de log te peilen en wel in aansluiting op de bepaling van de stroomsnelheid. Is de bamboedrijver op grote afstand slecht zichtbaar, dan vervange men deze door een verticale drijver met een klein vlaggetje overdag of een reflector des nachts.

## 7.5 Getijvoorspel-machines

Het is bekend, dat het vooruit berekenen van de getijbeweging voor een bepaalde dag, waarbij meerdere partiële getijden in rekening moeten worden gebracht, een tijdrovend werk is. Hoeveel te meer is dit niet het geval, indien zulks moet plaatsvinden voor een jaar, b.v. voor het samenstellen van een getijtafel, en dat nog wel voor meerdere plaatsen.

Om deze berekeningen te ontgaan, werd door Sir William Thomson (1824—1907, later Lord Kelvin) in de tweede helft van de vorige eeuw een getijmachine uitgedacht, welke door zijn assistent Edward Roberts werd ontworpen en voor practisch gebruik geschikt gemaakt.

Het ligt niet in het bestek van deze uitgave om hiervan een gedetailleerde beschrijving te geven. Hiervoor wordt verwezen naar boekwerken als „Admiralty Manual of Tides" van A. T. Doodson en H. D. Warburg, „Manual of harmonic analysis and prediction of tides" van Paul Schureman, enz. Volstaan zal worden met het aangeven van het principe, waarop dit toestel berust.

Dit bestaat uit twee gedeelten n.l.:

*a.* het verwekken van harmonische bewegingen in verticale zin;

*b.* het mechanisch sommeren dezer bewegingen en tevens registreren.

De harmonische beweging wordt gemakkelijk veroorzaakt door een om een vast middelpunt met eenparige snelheid ronddraaiende kruk.

Een schematische voorstelling vindt men in fig. 7.3. De kruk K, welke met eenparige snelheid draait om het middelpunt M heeft een pen P, die heen en weer kan bewegen in de horizontale gleuf G. Het T-stuk, waarin deze gleuf is aangebracht, kan met de schijf S slechts verticaal bewegen. De hoogte van de gleuf G boven het middelpunt M is in de figuur gelijk aan MP cos OMP. Teneinde dus de schijf S een harmonische beweging te laten maken, welke evenredig is met die van een harmonisch verlopend partieel getij, dient gezorgd te worden, dat MP op een geschikte schaal de amplitude voorstelt, terwijl de omwentelingssnelheid van de kruk evenredig moet zijn met de hoeksnelheid van het beschouwde getij. Voorts moet men in staat zijn om het geheel in te stellen voor een bepaald beginpunt, waarvoor $t = 0$ (b.v. 0 uur van 1 Januari van het gewenste jaar).

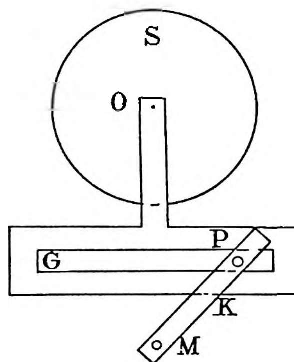


Fig. 7.3

Het is mogelijk om meerdere dergelijke krukken d.m.v. assen met het juiste aantal tanden (teneinde de omwentelingssnelheid evenredig te maken met de hoeksnelheid van het betrekkelijke getij) te koppelen aan een gemeenschappelijke as.

Het sommeren der bewegingen wordt schematisch weergegeven in fig. 7.4. De schijven A, B, C enz. worden alle afzonderlijk bewogen door een kruk als schematisch aangegeven in fig. 7.3 en liggen alle in hetzelfde vlak. De draad, welke over deze schijven loopt, is aan het einde bevestigd aan een vast punt V, terwijl het

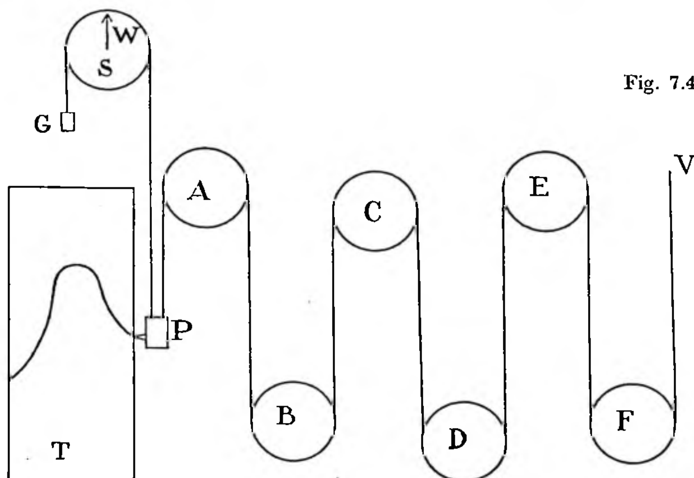


Fig. 7.4

andere einde door het gewicht van de schrijfstift of pen P verticaal naar beneden hangt. Thans zal, bij het zich naar boven bewegen van één of meer der schijven van de bovenste rij, de pen ook omhoog gaan, terwijl een rijzende beweging van de onderste schijven juist de pen doet dalen. Bij het instellen der krukken, welke elk de beweging weergeven van een bepaald partieel getij, dient men er dus rekening mede te houden, dat een opwaartse beweging van de krukken (met schijven) van de bovenste rij de pen, en dus het te registreren getij, doet rijzen, terwijl voor de onderste rij schijven dit juist een neerwaartse beweging dient te zijn.

Aangezien de draad bij V is vastgemaakt, worden de verticale bewegingen der schijven door de draad gesommeerd en zodoende door de pen, welke op het papier rond de trommel T drukt, aangetekend. Door deze trommel, die tevens aan de gemeenschappelijke as is gekoppeld, met de gewenste snelheid te laten ronddraaien, verkrijgt men een registratie van de door de partiële getijden veroorzaakte waterbeweging, welke van het papier kan worden afgelezen.

Voorts treft men vaak voor contrôle nog aan een draad met contra-gewicht G, welke loopt over schijf S met wijzer W en bevestigd is aan de pen. Een verdeling op schijf S maakt het dan mogelijk om d.m.v. de wijzer W de waterstand af te lezen.

Daar de hoeksnelheden der partiële getijden voor alle plaatsen op aarde eenzelfde waarde hebben en alleen de kappagetallen en amplituden verschillen, terwijl de krukken voor phase en amplitude ingesteld kunnen worden, kan de machine worden gebruikt voor voorspelling van het getij voor iedere willekeurige haven, mits de harmonische constanten van die haven bekend zijn.

### 7.6 Getijmachine voor boordgebruik

Door Duitsland werd in de oorlogsjaren 1940—1945 gebruik gemaakt van een handige getijmachine voor boordgebruik, waarmede op snelle wijze een getijvoorspelling kan worden verkregen.

Daar dit instrument ook door andere landen wordt of zal worden gebruikt, is hier een korte beschrijving op zijn plaats.

Het instrument bestaat uit een kastje, waarin een optelsysteem is ondergebracht. Door middel van een 30-tal knoppen op het bovendeksel kunnen worden ingesteld:

*a.* de amplituden der componenten $M_2$, $S_2$, $N_2$, $K_2$, $\mu_2$, $K_1$, $O_1$, $P_1$, $M_4$ en $MS_4$, geldend voor een bepaalde plaats;

*b.* de waarden 360°—g, geldend voor een bepaalde plaats;

*c.* de astronomische argumenten.

Bovendien zijn twee knoppen aanwezig, waarmede resp. de datum en de middenstandshoogte t.o.v. het reductievlak kunnen worden ingesteld.

Aan de voor- en linkerzijde worden door 2 vensters resp. de uren en de daarbijbehorende getijhoogten afgelezen.

Het instrument wordt bewogen door middel van een kruk aan de rechterzijde.

In verband met het verloop der machine mag de voorspelling zich slechts over een periode van 15 dagen uitstrekken, waarna opnieuw de astronomische argumenten moeten worden ingesteld.

# VIII. GETIJGOLVEN

## 8.1 Lopende en staande golven

De krachten, die de getijbeweging veroorzaken, zijn in de vroeger gegeven beschouwingen ontleed in partiële krachten, die harmonisch verlopen. Aangenomen wordt nu, dat door deze partiële krachten bewegingen ontstaan met dezelfde periode als de krachten en die eveneens harmonisch verlopen.

De opgave, uit de gegeven krachten af te leiden welke bewegingen het water verkrijgt, is een hydrodynamisch vraagstuk, waarvan de algemene oplossing grote moeilijkheden oplevert.

Alleen door vereenvoudigingen aan te nemen kan men tot uitkomsten komen, die een beeld geven van de bewegingen, die men kan verwachten.

Beschouwt men een kanaal van onbeperkte lengte en constante breedte en diepte, dan zullen de bewegingen voornamelijk ontstaan door de component van de getijkracht in de lengte-as van het kanaal. De phase van die kracht varieert van punt tot punt, zodat de versnellingen, die de waterdeeltjes verkrijgen, niet overal dezelfde zijn. Als gevolg hiervan zullen ook de snelheden variëren.

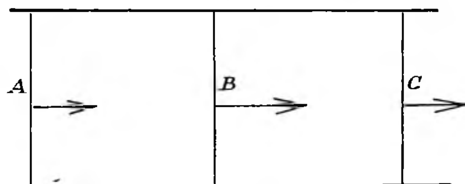


Fig. 8.1

Is de snelheid in B groter dan die in A en in C (fig. 8.1), dan zal in het vak AB meer water uitstromen dan binnenkomen. Het water daalt dus.

In het vakje BC komt meer water binnen dan dat er uitstroomt, waardoor het water rijst.

Men heeft dus te maken met zowel horizontale als verticale bewegingen van het water, die beide periodiek verlopen.

Het water verkrijgt dus een golfbeweging.

De eenvoudigste golfbeweging is een lopende golf.

Een lopende golf behoudt steeds hetzelfde profiel, terwijl dit golfprofiel zich met eenparige snelheid verplaatst.

De punten, waar de waterstand het hoogst is, heten de golftoppen; die, waar de waterstand het laagst is, de golfdalen.

De afstand van twee opvolgende golftoppen heet de golflengte $\lambda$.

De tijd, waarin de golf zich verplaatst over een afstand gelijk aan de golflengte, heet de golfperiode T van de lopende golf. Voor een waarnemer, die de golf voorbij zich ziet trekken, is de periode de tijd, die verloopt tussen twee tijdstippen, waarop twee opvolgende golftoppen hem passeren.

De golfsnelheid c is de snelheid van de beweging van de golftoppen.

Tussen $\lambda$, T en c bestaat de betrekking $\lambda = c\,T$.

Bij een lopende golf beschrijven de waterdeeltjes gesloten banen om hun evenwichtstand. Deze banen liggen in vlakken, die evenwijdig zijn met de richting, waarin de golf beweegt.

De omloopstijd is voor alle deeltjes dezelfde, maar naarmate die deeltjes verder liggen in de richting van de beweging van de golf, bereiken zij overeenkomstige punten van hun banen later.

Eenvoudigheidshalve zal worden aangenomen dat de banen der waterdeeltjes cirkels zijn.

Beschouwt men de waterdeeltjes, die hun evenwichtstand hebben in resp. a, b, c, enz. (fig. 8.2 I), dan beschrijven zij, als een golfbeweging is ontstaan, cirkels om die punten. Is de voortplantingsrichting van de golf die van de pijl A, dan geschiedt de beweging in alle cirkels in de richting van de daarin getekende pijlen.

Als het deeltje a in $a_0$ aangekomen is, heeft b de overeenkomstige stand nog niet bereikt, doch bevindt het zich in $b_7$.

Evenzo staat c in $c_6$, d in $d_5$, e in $e_4$ enz.

Het wateroppervlak heeft dus de gedaante van de zwaar getrokken lijn in fig. 8.2 I.

Is b in $b_0$ gekomen, dan nemen de overige deeltjes respectievelijk de plaatsen $a_1$, $c_7$, $d_6$, $e_5$, enz. in.

Fig. 8.2 II geeft de gedaante van het wateroppervlak op dit ogenblik (de onderbroken lijn geeft de stand van fig. 8.2 I).

Zo voortgaande vindt men in de figuren 8.2 I t/m VIII de gedaante van het wateroppervlak, als a respectievelijk de standen $a_0$, $a_1$, $a_2$ enz. heeft bereikt (waarbij telkens de onderbroken lijnen de stand van de voorafgaande figuur aangeven).

In fig. 8.2 I heeft a zijn hoogste stand bereikt; tegelijkertijd heeft a dan een beweging naar rechts, dus in de richting van de voortplanting van de golfbeweging.

Het punt c heeft zijn gemiddelde hoogte bereikt in $c_6$. Daar is geen horizontale, doch alleen verticale beweging van het water.

Het punt e heeft zijn laagste stand in $e_4$. Tegelijkertijd heeft het een horizontale snelheid naar links, dus tegengesteld aan de voortplantingssnelheid van de golf.

Ook uit de beschouwing van de figuren II t/m VIII volgen dezelfde resultaten, nl.:

Op de golftop (waar het water zijn hoogste stand bereikt) stroomt het water in de voortplantingsrichting van de golf, in het golfdal (waar het water de laagste stand heeft) is de stroming tegengesteld.

In het voorgaande is alleen de beweging van het wateroppervlak beschouwd.

Men moet nu echter onderscheid maken tussen twee soorten van lopende golven.

Ten eerste heeft men golven, waarbij de golflengte klein is t.o.v. de waterdiepte. Dergelijke golven zijn o.a. de golven, die ontstaan door de werking van de wind op het wateroppervlak. De horizontale bewegingen, die de verschillende waterdeeltjes verkrijgen, hangen af van de waterdiepte.

Bij de getijbeweging heeft men te maken met lange lopende golven, waarbij de golflengte groot is ten opzichte van de waterdiepte. Hier werken de krachten op alle waterdelen vanaf de bodem tot aan het wateroppervlak.

Ziet men af van de wrijving, dan zal op een bepaalde plaats de horizontale snelheid vanaf de bodem tot aan de wateroppervlakte dezelfde zijn.

Is nu bovendien de golfhoogte klein ten opzichte van de diepte, dan kan men de verticale component van de snelheid verwaarlozen t.o.v. de horizontale snelheid.

Wanneer eenmaal een lopende golf is ontstaan en deze blijft bestaan na het ophouden van de krachten, dan noemt men de golf een *vrije* golf.

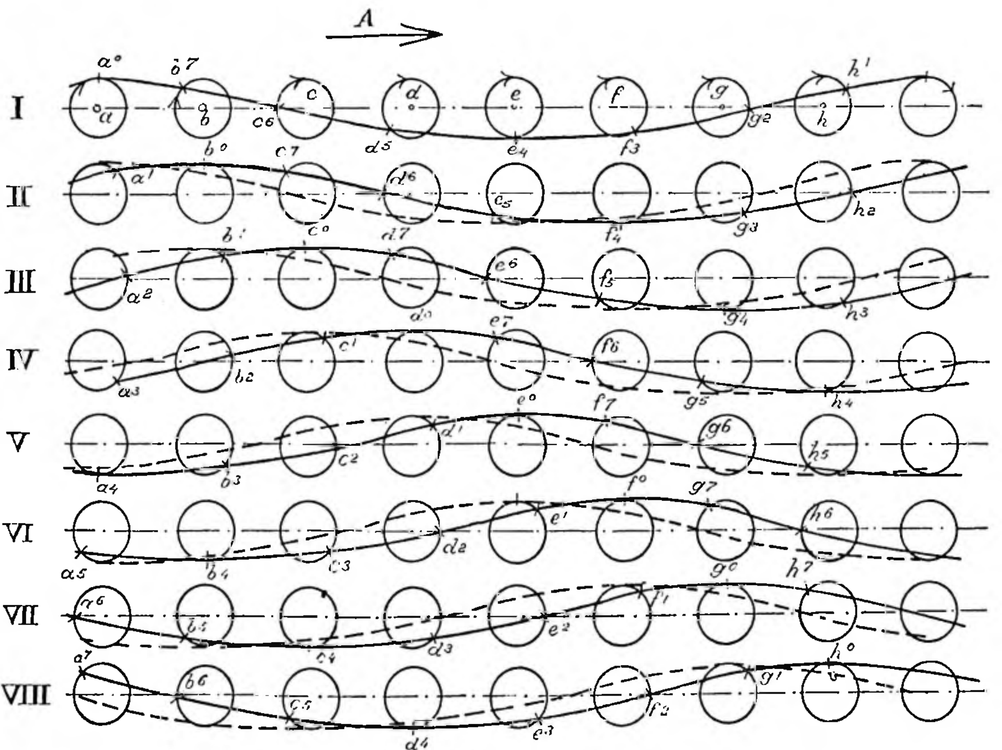



Fig. 8.2

Blijft de golfbeweging steeds onder de invloed van de krachten, die de golfbeweging veroorzaken, dan is de golf een *gedwongen* golf.

Om tot formules te komen, die het verband aangeven tussen de verschillende grootheden, die een vrije lopende golf bepalen, nemen wij een kanaal van rechthoekige doorsnede en constante diepte.

Men denkt zich een assenstelsel in dit kanaal, waarvan de X-as ligt in de lengterichting, de Y-as horizontaal loodrecht daarop, en de Z-as verticaal loopt.

De gemiddelde waterstand ligt op een afstand h boven de bodem van het kanaal, de hoogte van het wateroppervlak in een bepaald punt boven de gemiddelde waterstand wordt aangegeven door $\eta$.

Fig. 8.3

Een watervolume, dat in het XZ-vlak wordt begrensd door de rechthoek PQRS (fig. 8.3), heeft de afmetingen dx, dy en dz.

Is $\varrho$ de soortelijke massa van de vloeistof, dan is de massa van het beschouwde volume-element $\varrho$ dx dy dz.

De druk door de boven het vloeistofelement zich bevindende watermassa per $cm^2$ is het gewicht van een waterkolom met een doorsnede van 1 $cm^2$ en een hoogte $h + \eta - z$ als z de hoogte van het vloeistofelement boven de bodem van het kanaal is.

Deze druk is dus

$$g \varrho (h + \eta - z).$$

De waterhoogte verandert met x. Is deze waarde boven P $\eta$ en boven Q $\eta_1$, dan werkt op het zijvlak door PS een kracht $g \varrho (h + \eta - z)\, dy\, dz$ naar rechts en op het zijvlak door QR een kracht $g\varrho (h + \eta_1 - z)\, dy\, dz$ naar links.

De totale druk naar links is dan

$$g \varrho (\eta_1 - \eta)\, dy\, dz$$

Gebruik makend van de betrekking $f(x + \triangle x) - f(x) = \triangle x\, f'(x)$ is dan $\eta_1 - \eta = \frac{\partial \eta}{\partial x} dx$.

De kracht, die het volume-element naar links wil drijven, is dus bepaald door

$$g \varrho \frac{\partial \eta}{\partial x} dx \,.\, dy \,.\, dz.$$

Bij een vrije golf zonder wrijving is dit de enige kracht, die de beweging onderhoudt.

Deze kracht geeft aan de massa $\varrho\, dx \,.\, dy \,.\, dz$ een versnelling $g \frac{\partial \eta}{\partial x}$.

Daar de richting van meting van x en van de snelheid v tegengesteld is aan de richting van de kracht, is dus $\frac{\partial v}{\partial t} = - g \frac{\partial \eta}{\partial x}$.

De snelheid v hangt echter niet alleen af van de tijd t, doch ook van de plaats van het vloeistofelement.

Is dus over de doorsnede ABCD van fig. 8.4 de snelheid v en over de doorsnede A'B'C'D' de snelheid $v_1$, dan is

$$b\,(h + \eta)\,v_1 - b\,(h + \eta)\,v$$

de hoeveelheid water, die per sec. uit het vak ABCD wegstroomt.

Daar de dichtheid van de vloeistof niet verandert, moet dit gepaard gaan met een daling van het wateroppervlak met een snelheid $-\frac{\partial \eta}{\partial t}$, waardoor het volume vermindert met $-\,b\,dx \times \frac{\partial \eta}{\partial t}$.

$v_1 - v$ kan men weder vervangen door

$$\frac{\partial v}{\partial x}\,dx,$$

zodat

$$b\,dx\,(h + \eta)\,\frac{\partial v}{\partial x} + b\,dx\,\frac{\partial \eta}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\,(h + \eta)\,\frac{\partial v}{\partial x}$$

Is nu de hoogte boven het gemiddelde peil klein t.o.v. de waterdiepte h, dan kan men stellen

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\,h\,\frac{\partial v}{\partial x} \quad \text{en} \quad \frac{\partial v}{\partial t} = -\,g\,\frac{\partial \eta}{\partial x}$$

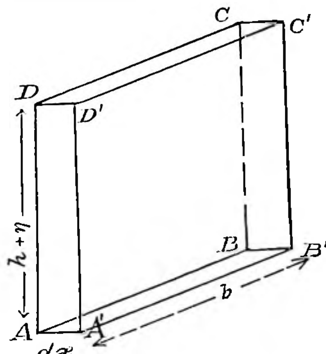


Fig. 8.4

Deze twee vergelijkingen geven het verband tussen de horizontale snelheid (de stroomsnelheid) en de waterstand t.o.v. het gemiddelde peil.

Is voor de vrije lopende golf $\eta$ bepaald door een harmonische functie $\eta = \eta_0 \cos(\varphi + \omega t)$, dan hangt $\varphi_0$ (de phase voor het tijdstip $t = 0$) af van x. Voor twee waarden van x, die een bedrag gelijk aan de golflengte $\lambda$ verschillen, is $\varphi_0$ 360° verschillend.

Geldt dus $\varphi_0$ voor een plaats waar $x = 0$, dan is voor een plaats op afstand x, de phase voor $t = 0$ gelijk aan $\varphi_0 - \frac{x}{\lambda} \times 360°$ of in radialen $\varphi = \varphi_0 - \frac{2\pi\,x}{\lambda}$.

Daar $\omega = \frac{2\pi}{T}$, kan men dus schrijven $\eta = \eta_0 \cos\left(\varphi_0 + \frac{2\pi}{T}\,t - \frac{2\pi\,x}{\lambda}\right)$.

Rekent men x vanaf de plaats waar voor $t = 0$ ook $\varphi_0 = 0$, dan is

$$\eta = \eta_0 \cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right),$$

waaruit

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\,\frac{2\pi}{T}\,\eta_0 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) = -\,h\,\frac{\partial v}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{2\pi}{\lambda}\,\eta_0 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) = -\,\frac{1}{g}\,\frac{\partial v}{\partial t}.$$

Hieruit volgt, dat ook v bepaald is door een formule van de gedaante

$$v = v_0 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right),$$

waardoor

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{2\pi}{\lambda} v_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right).$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{2\pi}{T} v_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right).$$

Om nu aan de betrekkingen $\frac{\partial \eta}{\partial t} = - h \frac{\partial v}{\partial x}$ en $\frac{\partial v}{\partial t} = - g \frac{\partial \eta}{\partial x}$ te voldoen, moet $\frac{2\pi}{T} \eta_0 = \frac{2\pi}{\lambda} v_0 h$ en $\frac{2\pi \eta_0}{\lambda} g = \frac{2\pi v_0}{T}$ zijn, hetgeen alleen mogelijk is als $\frac{Th}{\lambda} = \frac{\lambda}{gT}$ of $gh = \frac{\lambda^2}{T^2} = c^2$.

De snelheid van de voortplanting van een vrije lopende golf is dus bepaald door $c = \sqrt{gh}$.

Tevens is $\frac{\eta}{v} = \frac{\eta_0}{v_0} = \frac{hT}{\lambda} = \frac{h}{c}$.

De snelheid van een vrije lopende golf hangt dus af van de waterdiepte.
Men vindt uit $c = \sqrt{gh}$

| h | c | h | c |
|---|---|---|---|
| 50 m . . . . | 22 m/sec. | 2 000 m . . . . | 140 m/sec. |
| 100 m . . . . | 31 „ | 3 000 m . . . . | 172 „ |
| 200 m . . . . | 44 „ | 4 000 m . . . . | 198 „ |
| 300 m . . . . | 54 „ | 5 000 m . . . . | 221 „ |
| 400 m . . . . | 63 „ | 10 000 m . . . . | 313 „ |
| 500 m . . . . | 70 „ | 20 000 m . . . . | 442 „ |
| 1000 m . . . . | 99 „ | | |

Uitdrukkelijk wordt hierbij opgemerkt, dat deze afleiding alleen zin heeft als de golfhoogte klein is ten opzichte van de waterdiepte. Is dit niet het geval, dan mag $\eta$ niet verwaarloosd worden t.o.v. h en is

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -(h + \eta)\frac{\partial v}{\partial x} \text{ en } g\frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{\partial v}{\partial t}.$$

Daar $\eta = \eta_0 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$ en $v = v_0 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$, hebben in de lopende golf $\eta$ en v dezelfde phasen.

Dit wil dus zeggen: als het water in hoogste stand is, is de stroomsnelheid maximum en wel in de richting, waarin de golf beweegt, terwijl als het water in laagste stand is, de stroomsnelheid weder een grootste waarde bereikt, doch in tegengestelde richting. Is het water in de gemiddelde stand, dan is de stroomsnelheid nul.

Een lopende golf kan alleen blijven bestaan, als er geen wrijving is en de golf nergens in zijn voortplanting wordt gehinderd.

Door de begrenzing der landmassa's op aarde wordt echter een lopende golf gestuit en zal de golf teruggekaatst worden.

De oorspronkelijke golf en de teruggekaatste golf geven een resulterende beweging. Men zegt, dat beide golven interfereren.

Het eenvoudigste geval hierbij is een lopende golf, die teruggekaatst wordt tegen een verticale wand, loodrecht geplaatst op de richting van de voortplanting.

Bij een ideale terugkaatsing zonder wrijving of ander energieverlies is de teruggekaatste golf het spiegelbeeld van het deel van de oorspronkelijke golf, dat zonder het terugkaatsingsvlak verder zou bewegen.

Is het nulpunt voor de meting van x bij het vlak van terugkaatsing en rekent men $t = 0$ als het punt van de golf bij dit vlak de phase nul heeft, dan is in een punt op een afstand x de getijhoogte van de oorspronkelijke golf $y = y_0 \cos \omega \left(t + \frac{x}{c}\right)$

en voor de teruggekaatste golf $y = y_0 \cos \omega \left(t - \frac{x}{c}\right)$, waarin $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

Voor de stroomsnelheden in dit punt geldt dan

in de oorspronkelijke golf $v = v_0 \cos \omega \left(t + \frac{x}{c}\right)$,

in de teruggekaatste golf $v = - v_0 \cos \omega \left(t - \frac{x}{c}\right)$.

Voor de resulterende golf is dan

$$y = y_0 \cos \omega \left(t + \frac{x}{c}\right) + y_0 \cos \omega \left(t - \frac{x}{c}\right) = 2y_0 \cos \frac{\omega x}{c} \cos \omega t,$$

$$v = v_0 \cos \omega \left(t + \frac{x}{c}\right) - v_0 \cos \omega \left(t - \frac{x}{c}\right) = - 2v_0 \sin \frac{\omega x}{c} \sin \omega t =$$

$$= 2v_0 \sin \frac{\omega x}{c} \cos (\omega t + 90^\circ).$$

Het golfbeeld wordt nu geheel anders dan bij de lopende golf.

Daar waar $\cos \frac{\omega x}{c} = 1$, dus op de plaatsen waarvoor $\frac{\omega x}{c} = 0,\ 2\pi,\ 4\pi$ enz, is $y = 2y_0 \cos \omega t$. De amplitude is $2y_0$.

De stroomsnelheid is daar nul.

$\frac{2\pi c}{\omega} = cT = \lambda$ de golflengte van de oorspronkelijke golf, die bepaald is door $\lambda = cT = T\sqrt{gh}$. Voor de beschouwde punten is dus $x = 0$, $x = \lambda$, $x = 2\lambda$ enz.

Voor de plaatsen, waarvoor $\cos \frac{\omega x}{c} = -1$, waarvoor dus $x = \frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda$ enz., is $y = - 2y_0 \cos \omega t = 2y_0 \cos (\omega t \pm 180^\circ)$ en eveneens $v = 0$.

De phase van de verticale beweging verschilt in deze punten 180° met die in de bovengenoemde punten.

Voor de punten, waar $\cos \frac{\omega x}{c} = 0$ en dus $x = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda$ enz., is y constant nul; er is daar geen verticale beweging. De stroomsnelheid is daar $\pm\, 2v_0 \sin \omega t$.

De amplitude van de verticale beweging en ook die van de stroomsnelheid is niet voor alle punten dezelfde. De phase van de stroomsnelheid is 90° vóór op de phase van de verticale beweging. In de punten, waarvoor $x = 0, \frac{1}{2}\lambda, \lambda, 1\frac{1}{2}\lambda$, enz., is de verticale beweging het sterkst en de stroom constant nul; in de punten, waar $x = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda$, is geen verticale beweging en is op elk tijdstip de stroom sterker dan elders.

Voor alle punten staat op het zelfde moment het water in de gemiddelde stand, op welk tijdstip de stroom voor elk punt zijn grootste sterkte heeft.

Men komt nu tot een golf van veranderlijke vorm, die echter niet van plaats verandert.

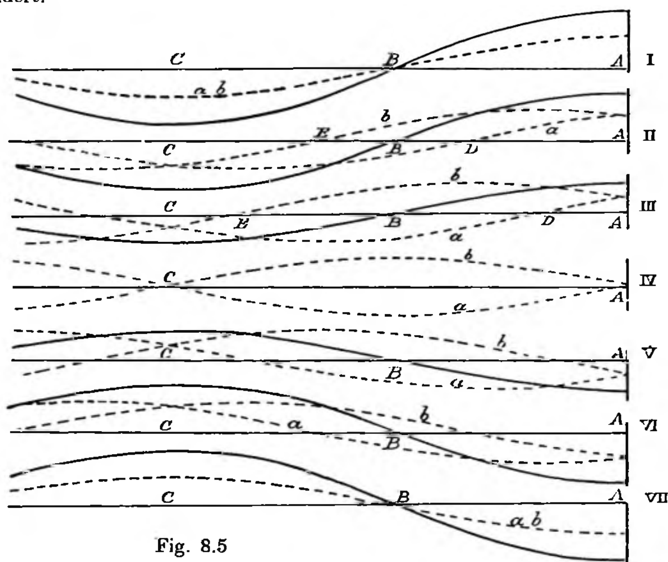



Fig. 8.5

In de figuren 8.5 I t/m VII is het golfprofiel van de oorspronkelijke golf aangegeven door de onderbroken lijn a, dat van de teruggekaatste golf door de onderbroken lijn b. De standen I t/m VII zijn telkens getekend voor tijdstippen, die $\frac{1}{12}$ van de golfperiode verschillen.

Bij I valt de golftop van a, en ook die van b, in A. Beide golven vallen samen. De resulterende golf geeft in A en in C uiterste standen, terwijl in B het water in gemiddelde stand blijft.

Bij II geeft de heengaande golf in D, de teruggekaatste in E het water in de middenstand. In de resulterende golf blijven in A en C de uiterste standen, terwijl in B het water in de gemiddelde stand blijft. Tussen A en B is het water gedaald, tussen B en C gestegen.

Bij III is voor de heengaande golf het punt D meer naar rechts, terwijl voor de teruggekaatste golf het punt E meer naar links is verschoven t.o.v. stand II. Ook hier vallen voor de resulterende golf de uiterste standen in A en C, terwijl in B de waterstand niet is veranderd.

Bij IV heffen heen- en teruggaande golf elkanders verticale beweging op; overal staat het water in de middenstand.

Gaat men de verdere beweging na aan de hand van de standen V, VI, VII, dan blijkt, dat voor de resulterende golf het golfprofiel verandert, doch op dezelfde plaats blijft.

Deze golfvorm heet een *staande golf.*

In een staande golf bereiken alle punten tegelijkertijd hun uiterste stand en zijn alle punten tegelijk in de gemiddelde stand.

De punten A en C, waar de verticale beweging het sterkst is, heten de *buiken* van de staande golf. Punten zoals B, waar geen verticale beweging is, heten de *knopen* van de staande golf.

Wat de horizontale bewegingen aangaat: bij de standen I en VII zijn de stroomsnelheden van a en b gelijk, maar tegengesteld. In de resulterende golf loopt dan nergens stroom.

Als het water in A na stand I begint te dalen en in C begint te stijgen, loopt, behalve in A en C zelf, tussen A en C de stroom naar links. Dit blijft het geval tot in A de laagste en in C de hoogste stand is bereikt. Daarna kentert de stroom.

Men heeft dus:

Lopende golven. Het golfprofiel verplaatst met eenparige snelheid en verandert niet van vorm.
De stroom heeft zijn grootste kracht als het water in de hoogste of in de laagste stand is.
De stroom kentert als het water de middenstand bereikt.
De stroom loopt in de richting van de voortplanting van de golf als het water boven de gemiddelde stand en in tegengestelde richting als het water beneden de gemiddelde stand is.

Staande golven. Het golfprofiel verplaatst zich niet, doch verandert van vorm.
De stroom heeft de grootste kracht als het water de middenstand bereikt.
De stroom kentert als het water de uiterste stand bereikt.
In de buiken is alleen verticale beweging, in de knopen alleen horizontale beweging.
De stroom loopt van de buik, waar het water daalt, naar de buik, waar het water stijgt.

Voor beide soorten van golven geldt $\lambda = T\sqrt{gh}$.

Lange staande golven zullen zeker voorkomen in afgesloten gebieden. Denkt men zich een rechthoekig gebied, waarvan de lengte groot is ten opzichte van de breedte en dat aan alle zijden is afgesloten, dan kan men zich daarin een golf denken in de lengterichting van het gebied (fig. 8.6).

Aan de gesloten einden AB en CD zullen buiken van de staande golf worden gevormd. Het eenvoudigste geval is, dat één knoop voorkomt gelegen op de halve lengte van het gebied.

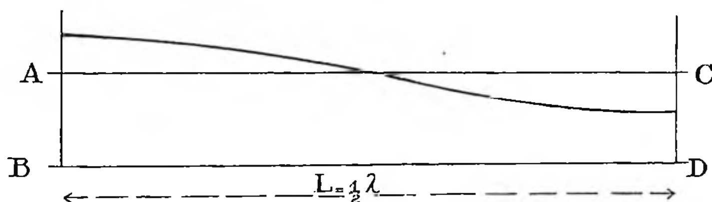



Fig. 8.6

Is L de lengte van het gebied, dan is de golflengte in dit geval 2L.

De periode van de golf in dit gebied is dan bepaald door $2L = T\sqrt{gh}$ of $T = \frac{2L}{\sqrt{gh}}$.

Is dus door een evenwichtsverstoring een golfbeweging ontstaan, dan zal na het ophouden van de krachten, die de evenwichtstoring veroorzaakten, een vrije staande golf blijven, waarvan de periode geheel bepaald is door lengte en diepte van het gebied.

De periode van deze vrije staande golf heet de eigen periode van dit gebied.

Behalve de golf met één knoop kunnen ook golven bestaan met meerdere knopen. De golflengte en dus ook de periode van deze golven hangt af van het aantal knopen.

Bij twee knopen is de golflengte L, bij drie knopen $\frac{2}{3}$ L (zie fig. 8.7).

De perioden van deze golven zijn dan resp. $\frac{L}{\sqrt{gh}}$ en $\frac{2L}{3\sqrt{gh}}$.

Bij n knopen $\frac{2L}{n\sqrt{gh}}$.

Deze golven, met kortere perioden dan de eigen periode $\frac{2L}{\sqrt{gh}}$, zijn secondaire golven.

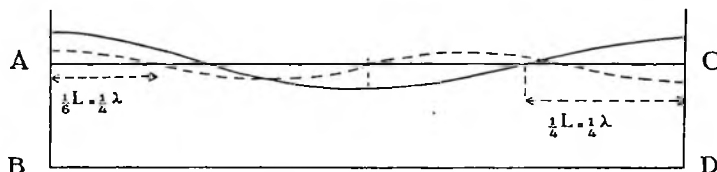



Fig. 8.7

Zijn breedte en waterdiepte niet constant, dan is een formule voor de periode niet gemakkelijk aan te geven. In ieder geval blijkt een bepaalde watermassa in een afgesloten gebied een eigen periode te hebben. Zijn vrije staande golven verwekt,

dan vertonen zij een periode, die voor dit gebied een vaste bepaalde waarde heeft.

Golfbewegingen van dit type komen voor in afgesloten zeegebieden en in meren. Het eerst zijn dergelijke bewegingen bestudeerd in het meer van Genève, waar zij bekend zijn onder de naam van *seiches.*

Beschouwt men een kanaal, dat aan één zijde is gesloten en aan de andere zijde in verbinding is met een uitgestrekt zeegebied, dan zal als gevolg van een tijdelijke evenwichtsverstoring een golf in dit kanaal kunnen ontstaan. Deze golf kan door het gesloten einde geen lopende golf zijn. Bij ideale terugkaatsing ontstaat een staande golf.

De golfbeweging in het kanaal zal geen invloed hebben op de waterstand in het zeegebied, zodat aan de mond van het kanaal een knoop zal liggen. Is dit de enige knoop van de golf in het kanaal, waarvan de lengte = L, dan is $L = \frac{1}{4} \lambda$, zodat nu $4\ L = T\sqrt{gh}$, $T = \frac{4\ L}{\sqrt{gh}}$.

De periode van de golfbeweging hangt dus geheel af van lengte en diepte van het kanaal. Men noemt dit weer de eigen periode van de beschouwde watermassa.

Ook hier kunnen meerdere knopen voorkomen, die aanleiding geven tot secondaire golven.

Zijn breedte en diepte niet constant, dan is een formule voor de eigen periode moeilijk te bepalen. Evenals bij een geheel afgesloten gebied blijkt ook hier een bepaald gebied een eigen periode te hebben.

### 8.2 Getijgolven in het algemeen

Bij de beschouwing van de lopende en staande golven is ervan uitgegaan, dat een evenwichtstoring een golfbeweging heeft doen ontstaan en de beweging blijft bestaan als de oorzaken van de evenwichtsstoring zijn opgehouden. Met verwaarlozing van wrijving blijft de golfbeweging dan in stand.

De zo gevormde golven noemt men *vrije golven.*

De getijkrachten blijven continu werken en geven dus aanleiding tot golven, die steeds onder de invloed van de gegeven krachten blijven. Dergelijke golven noemt men *gedwongen golven.*

In de oceanen heeft men dus gedwongen getijgolven. Welke getijbeweging daardoor in een bepaald punt ontstaat, kan men buiten beschouwing laten; zeker is, dat de getijbeweging van de oceanen zich voortplant in randzeeën, golven en baaien.

De getijbeweging in de oceanen bestaat uit een aantal harmonische bewegingen, die elk voor zich een bepaalde periode hebben.

Een gedwongen golf, die zich voortplant in een gebied, dat in verbinding staat met een oceaan, zal eveneens de periode hebben, die overeenkomt met een bepaalde getijkracht.

De watermassa in dit gebied heeft een bepaalde eigen periode.

Hoe nu de waterbeweging in dit gebied zal verlopen, hangt af van de verhouding tussen de periode van de golf, die door de getijkracht buiten het gebied reeds was ontstaan, en de eigen periode van het gebied.

Het verband tussen de bewegingen, die door periodieke krachten ontstaan, en de eigen periode van de bewegende massa blijkt o.a. uit gewone slingerbewegingen.

Een vrij opgehangen slinger heeft een slingertijd, die afhangt van zijn lengte. De amplitude van de slingerbeweging hangt af van de kracht van de stoot, die men de slinger heeft gegeven om hem in beweging te brengen. Bij de slingeringen heeft telkens een omzetting plaats van arbeidsvermogen van beweging in arbeidsvermogen van plaats. Het totale arbeidsvermogen verandert niet, als geen andere krachten dan de zwaartekracht werken.

Is de slinger in zijn uiterste stand, dan is de snelheid nul en het arbeidsvermogen geheel omgezet in arbeidsvermogen van plaats, dat weer wordt omgezet in arbeidsvermogen van beweging bij de beweging terug. Zonder toevoeging van arbeidsvermogen blijft de slingerwijdte steeds dezelfde.

Wordt telkens een stoot gegeven als de slinger in uiterste stand is, dan wordt arbeidsvermogen toegevoegd en bij de beweging terug, als het arbeidsvermogen weer geheel is omgezet in arbeidsvermogen van plaats, zal dit bedrag groter zijn dan bij een vorige stand. De uitwijking van de slinger is dan groter dan bij de vorige slingering.

Geeft men dus telkens kleine toevoegingen van arbeidsvermogen van beweging als de slinger in uiterste stand is, dan zal de slingerwijdte steeds toenemen. Men zegt dan, dat *resonantie* ontstaat.

Een periodieke kracht met een periode gelijk aan die van de eigen periode van de slinger geeft aanleiding tot resonantie.

Een zelfde verschijnsel heeft men bij radio-ontvangst.

Een ontvangtoestel heeft een eigen trillingstijd. De trillingen, die van de zender uitgaan, veroorzaken trillingen in het ontvangtoestel. Deze trillingen worden zeer sterk, als de eigen trillingstijd van het toestel gelijk is aan de trillingstijd van de ontvangen trillingen.

Het zelfde is nu het geval met bewegingen ten gevolge van de getijkrachten, de getijbewegingen.

Deze bewegingen worden sterker, naarmate de eigen periode van de watermassa en de periode van de gedwongen golf minder verschillen.

Hierdoor kan men verklaren, dat de getijkrachten geen merkbare getijbeweging veroorzaken in binnenzeeën en meren, tenzij de lengte en de waterdiepte kritieke waarden hebben.

Om een sterke dubbeldaagse beweging te verkrijgen, zou de eigen periode ongeveer 12 u = 12 × 3600 sec moeten zijn.

Uit $2L = T\sqrt{gh}$ volgt dan voor gegeven diepte de lengte van het gebied.

Men vindt dan

| h | L | h | L |
|---|---|---|---|
| 50 m . . . . . | 480 km | 200 m . . . . . | 960 km |
| 60 m . . . . . | 525 km | 300 m . . . . . | 1170 km |
| 70 m . . . . . | 565 km | 400 m . . . . . | 1350 km |
| 80 m . . . . . | 605 km | 500 m . . . . . | 1510 km |
| 90 m . . . . . | 640 km | 1000 m . . . . . | 2150 km |
| 100 m . . . . . | 675 km | | |

In een gebied, dat aan één zijde in verbinding staat met een uitgestrekt zeegebied, kan een getijgolf ontstaan door de getijkrachten zelf en eveneens een getijgolf, die veroorzaakt wordt door de getijbeweging in het buitengebied.

Deze laatste golf, die dus niet ontstaat door de directe werking van de getijkrachten, noemt men een *vrije getijgolf*.

Beschouwd wordt het geval, dat het aan één zijde open gebied een constante breedte en diepte heeft en de lengte groot is t.o.v. de breedte.

In de eerste plaats wordt aangenomen, dat in het oceaangebied over de monding A alleen verticale beweging bestaat zonder stroom. In A bevindt zich dan een

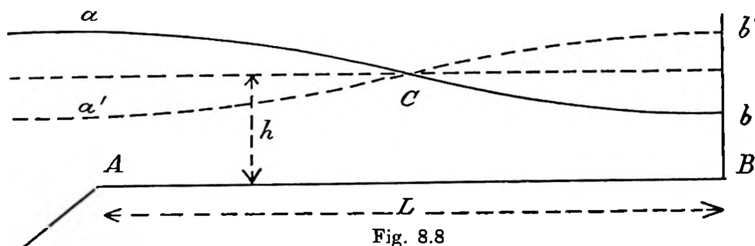



Fig. 8.8

buik van de staande golf van het kanaal A B (fig. 8.8). Maar ook aan het gesloten einde vindt men een buik. Op de halve lengte in C ligt dan een knoop. Het verval aa' aan de monding van het kanaal is dan gelijk aan het verval bb' aan het gesloten einde. Is het in A hoogwater, dan is het in B laagwater en omgekeerd. In C is geen verticale beweging.

Men heeft hier het zelfde geval als de staande golf in een aan weerszijden gesloten gebied met de lengte L. De periode T is hier bekend, n.l. de periode van de getijbeweging. De geschetste beweging kan alleen voorkomen als $2L = T\sqrt{gh}$, waardoor voor een dubbeldaags getij dezelfde waarden worden gevonden als boven voor het aan weerszijden gesloten gebied.

Is het kanaal korter, dan ligt aan het open einde geen buik. De golflengte is bepaald door $\lambda = T\sqrt{gh}$, waarbij T en h gegeven zijn. De afstand van de knoop tot het gesloten einde is $\frac{1}{4}\lambda$, wat nu groter is dan $\frac{1}{2}$ L.

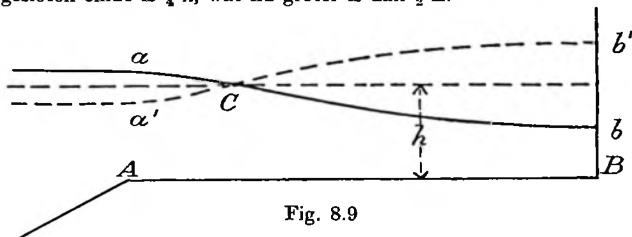



Fig. 8.9

In A is het verval aa' dat van het oceanisch getij (fig. 8.9). Omdat nu het golfprofiel van ab overgaat in a'b', verandert de hoeveelheid water in het kanaal, zodat bij A afwisselend stroom in en uit het kanaal trekt. Het verval in B (bb') is groter dan het verval in A (aa'). Verder is het laagwater in B als het hoogwater is in A en omgekeerd.

Is het open zeegebied zeer groot t.o.v. het kanaal, dan zullen de in- en uittrekkende stromen bij A practisch de verticale waterbeweging daar niet beïnvloeden.

Naarmate het kanaal korter wordt genomen, komt C dichter bij het open uiteinde te liggen en zal de verhouding van bb' tot aa' toenemen.

Zeer sterke getijbeweging in het gesloten einde van het kanaal kan dus verwacht worden, als de knoop in het open einde van het kanaal ligt. Theoretisch wordt het getij dan oneindig groot, doch wrijving en de invloed van de golf in het kanaal op het getij in het open gebied zullen dan in rekening moeten worden gebracht, waardoor dit extreme geval niet voorkomt.

De zeer sterke getijbeweging aan het gesloten einde komt voor bij een critieke lengte, die afhangt van de waterdiepte.

Men heeft hier $L = \frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{4} T \sqrt{gh}$.

Deze lengte volgt uit het volgende overzicht

| h | T $12^u25^m$ ($M_2$ getij) | T $23^u56^m$ ($K_1$ getij) |
|---|---|---|
| 50 m . . . . . | L 247 km | L 478 km |
| 100 m . . . . . | 350 km | 675 km |
| 200 m . . . . . | 496 km | 965 km |
| 300 m . . . . . | 605 km | 1170 km |
| 400 m . . . . . | 700 km | 1350 km |
| 500 m . . . . . | 783 km | 1510 km |
| 1000 m . . . . . | 1100 km | 2140 km |

Voor deze critieke lengten treedt resonantie op; een betrekkelijk zwak getij aan het open einde geeft aanleiding tot een sterke beweging aan het gesloten einde.

Wordt de lengte van het kanaal korter dan $\frac{1}{4}$ van de golflengte, dan bestaat er in het kanaal geen knoop, die het gebied verdeelt in twee delen, waarin resp. het water boven of beneden de middenstand staat.

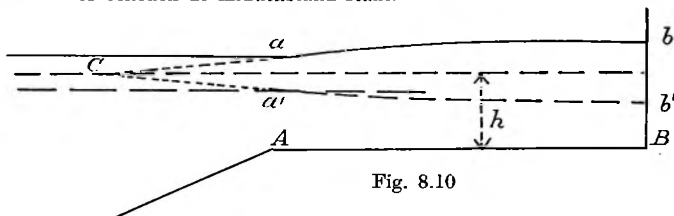



Fig. 8.10

Het punt C, dat op een afstand $\frac{1}{4}\lambda$ van het gesloten einde B ligt, valt nu buiten het gebied AB (fig. 8.10).

Het oceanisch getij heeft het verval aa', terwijl het golfprofiel bij hoogwater ab, bij laagwater a'b' is.

Overal tegelijk in het kanaal valt nu hoogwater, doch het verval neemt toe naarmate men dichter bij het gesloten einde komt.

Eenvoudigheidshalve is alleen beschouwd een kanaal met constante breedte en diepte. Nemen breedte en diepte af, dan zullen daardoor getijhoogte en getijstroom versterkt worden. Zonder op mathematische afleidingen in te gaan, zij hier alleen

vermeld, dat vermindering in diepte voornamelijk het verval, vermindering in breedte voornamelijk de stroomsterkte beïnvloedt.

De watermassa heeft, hoe de vorm van deze ook is, een eigen periode, die geheel afhangt van de begrenzing van de massa. Wanneer de eigen periode nadert tot de getijperiode, dan zal een sterke getijbeweging voorkomen.

Een sterke getijbeweging kan dus zijn:

1e. een gevolg van resonantie;

2e. een gevolg van verandering in doorsnede van het kanaal.

### 8.3 Gedwongen getijgolven

Afgezien van de getijgolf in een kanaal, die ontstaat door de getijbeweging buiten het kanaal, zal ook een getijgolf ontstaan door de werking van de getijkrachten zelf.

Deze golf heet *een gedwongen getijgolf*.

Zij heeft een knoop aan de open monding, terwijl eventueel een tweede knoop ligt op een afstand $\frac{1}{2}\lambda = \frac{1}{2}T\sqrt{gh}$, indien $\lambda$ kleiner is dan 2L.

Is L kleiner dan $\frac{1}{4}\lambda$, dan is aan het gesloten einde B het verval wel het grootst, doch ontstaat daar geen buik van de staande golf, omdat deze op $\frac{1}{4}\lambda$ van de knoop moet liggen. Toch moet aan het gesloten einde de stroom nul zijn. De stroom kan men nu beschouwen als te bestaan uit twee componenten: de één de normale stroom van de staande golf, de tweede een constante stroom, gelijk doch tegengesteld aan de normale stroom, die in B zou voorkomen in een staande golf.

Wanneer $L = \frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{4}T\sqrt{gh}$, is weer de periode van de gedwongen getijgolf gelijk aan die van de vrije golf in het kanaal en treedt resonantie op.

### 8.4 Interferentie van lopende golven en van staande golven

Lopende golven kunnen in het algemeen niet onbeperkt voorkomen. Alleen in het gebied, dat het Zuidpool-vasteland omringt, zou in de richting Oost—West een lopende golf ongehinderd kunnen doorgaan. Lopende golven zullen echter in het algemeen terugkaatsen tegen kusten. Bij ideale terugkaatsing, waarbij geen energie verloren gaat, zouden staande golven ontstaan.

De golf, die ontstaat door een lopende golf, die wordt teruggekaatst, zal in het algemeen niet volkomen gelijk zijn aan de oorspronkelijke; een zuiver staande wordt dus ook niet gevormd in een kanaal met constante doorsnede, waarin een golf wordt teruggekaatst tegen een gesloten einde.

In dit geval heeft men te maken met twee lopende golven, die zich in tegengestelde richting bewegen en ongelijke amplituden hebben.

Ook kan een vrije getijgolf in een dergelijk kanaal interfereren met een gedwongen getijgolf. Daar men de beide staande golven kan beschouwen als de resultante van twee lopende golven, kan men, om na te gaan, welke bijzondere eigenaardigheden voorkomen, de interferentie beschouwen van twee tegengesteld lopende golven met ongelijke amplituden.

Is de ene golf bepaald door $A\cos\omega\left(t-\frac{x}{c}\right)$, de tweede door $B\cos\omega\left(t+\frac{x}{c}\right)$ wat de getijhoogte, en door resp. $u\cos\omega\left(t-\frac{x}{c}\right)$ en $-v\cos\omega\left(t+\frac{x}{c}\right)$ wat de stroomsnelheid betreft, dan geldt $\frac{u}{A}=\frac{c}{h}$ en $\frac{v}{B}=\frac{c}{h}$, waarbij $c=\sqrt{gh}$.

Men vindt dan als resulterende getijhoogte

$$A \cos \omega \left(t - \frac{x}{c}\right) + B \cos \omega \left(t + \frac{x}{c}\right) =$$

$$(A + B) \cos \frac{\omega x}{c} \cos \omega t + (A - B) \sin \frac{\omega x}{c} \sin \omega t.$$

Op de plaatsen waar $\frac{\omega x}{c} = 0,\ \pi,\ 2\pi,$ dus $x = 0,\ \frac{1}{2}\lambda,\ \lambda,$ is de amplitude $A + B$, daar waar $\cos \frac{\omega x}{c} = 0$, dus $x = \frac{1}{4}\lambda,\ \frac{3}{4}\lambda,\ \frac{5}{4}\lambda,$ is de amplitude $A - B$.

De amplitude heeft van punt tot punt een andere waarde, die afhangt van x. Is de amplitude R en stelt men

$$R \cos \alpha = (A + B) \cos \frac{\omega x}{c}$$

$$R \sin \alpha = (A - B) \sin \frac{\omega x}{c}$$

dan is de getijbeweging voor een bepaalde plaats bepaald door $R \cos (\omega t - \alpha)$, waarbij $\operatorname{tg} \alpha = \frac{A - B}{A + B} \operatorname{tg} \frac{\omega x}{c}$.

$(A + B) \cos \frac{\omega x}{c}$ en $(A - B) \sin \frac{\omega x}{c}$ kunnen niet beide nul zijn, als A en B verschillend zijn.

Voor een bepaald punt valt de hoogste waterstand, hoogwater, als $t = \frac{\alpha}{\omega}$.

Neemt men aan een getij, waarvoor $\omega = 30°$ per uur, dan vallen de tijden van hoogwater resp. te $0^u$, $1^u$, $2^u$, $3^u$, enz. als $\alpha = 0°, 30°, 60°, 90°$ enz.

Men kan dus de waarden bepalen van $\frac{x}{\lambda}$, waar hoogwater valt te $0^u$, $1^u$, $2^u$, $3^u$, enz.

Om tot bepaalde getallen te komen, neme men $A = 0{,}90$ m, $B = 0{,}60$ m.

Men vindt dan:

| tijd hoogwater | $\frac{x}{\lambda}$ | amplitude R |
|---|---|---|
| $0^u$ . . . . . . . . . . . . . . | 0 | 1,50 m (max.) |
| $1^u$ . . . . . . . . . . . . . . | 0,20 | 0,48 m |
| $2^u$ . . . . . . . . . . . . . . | 0,23 | 0,35 m |
| $3^u$ . . . . . . . . . . . . . . | 0,25 | 0,30 m (min.) |
| $4^u$ . . . . . . . . . . . . . . | 0,27 | 0,35 m |
| $5^u$ . . . . . . . . . . . . . . | 0,30 | 0,48 m |
| $6^u$ . . . . . . . . . . . . . . | 0,50 | 1,50 m |

De resulterende getijbeweging is geen lopende golf, doch ook geen staande golf. Bij een lopende golf verplaatst de golftop, het punt waar het hoogwater is, zich eenparig. Trekt men dus lijnen over plaatsen, waar hoogwater op hetzelfde tijdstip valt (z.g. cotidal lines), dan zal men, als men deze trekt over plaatsen, waar hoogwater valt te $0^u$, $1^u$, $2^u$, $3^u$, enz., lijnen verkrijgen, die op gelijke afstanden liggen.

Bij een staande golf zal over een gebied, gelijk aan een halve golflengte, het hoogwater op hetzelfde tijdstip vallen, voor een volgend gebied over een halve golflengte $6^u$ later.

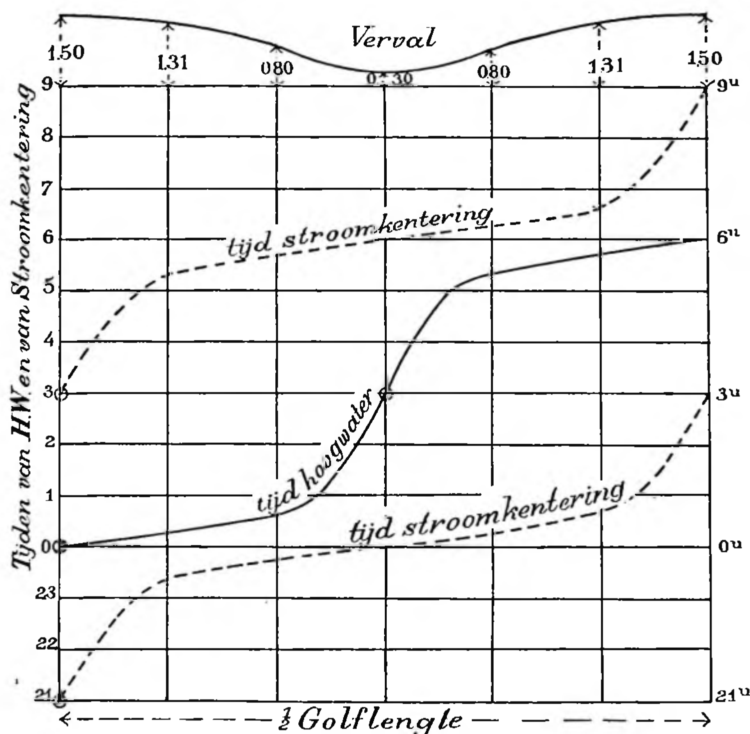



Fig. 8.11

De beschouwde resulterende golf geeft een verplaatsing van de cotidal lines, die de indruk geeft van een golf, die met veranderlijke snelheid loopt.

Bovendien is bij de lopende golf de amplitude voor elke plaats dezelfde; bij de gevonden golf varieert de amplitude.

Bij een staande golf heeft men knopen, die hier echter niet voorkomen.

Fig. 8.11 geeft een beeld van het verloop van de tijden van hoogwater en van het verval.

Bepaalt men het golfprofiel voor verschillende tijdstippen, dan blijkt het golfprofiel veranderlijk te zijn. Fig. 8.12 geeft het profiel voor $t = 0^u$, $1^u$, $2^u$, $3^u$, enz.

De golftop, het punt waar de hoogste stand in het profiel voorkomt, valt niet steeds daar, waar het op dit moment hoogwater (de hoogste stand van het water op die plaats) is.

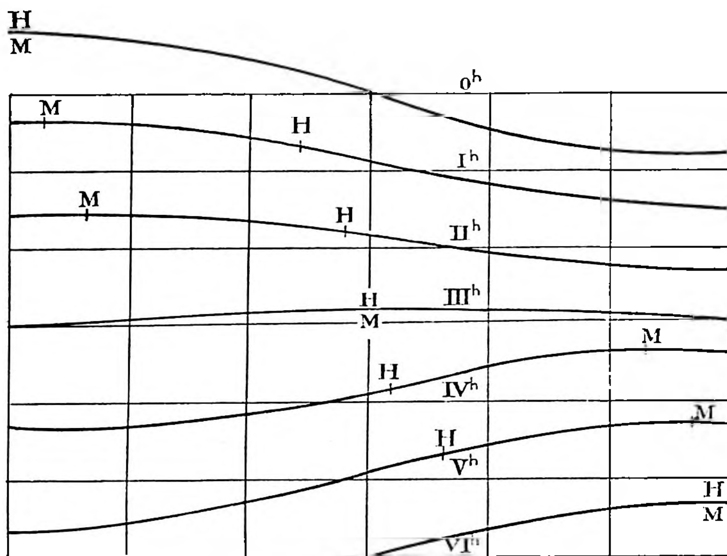



Fig. 8.12

De punten gemerkt H geven aan, waar het hoogwater is, terwijl M het hoogste punt van het profiel aangeeft.

De resulterende stroom is

$$u \cos \omega \left(t - \frac{x}{c}\right) - v \cos \omega \left(t + \frac{x}{c}\right) =$$

$$(u + v) \sin \frac{\omega x}{c} \sin \omega t + (u - v) \cos \frac{\omega x}{c} \cos \omega t.$$

Evenals boven is opgemerkt voor de getijhoogte, zal de amplitude van de stroom (de absolute waarde van de maximum stroomsterkte) niet op alle plaatsen dezelfde zijn.

Daar waar de verticale beweging de grootste amplitude heeft, is de stroomamplitude het kleinst $= u - v$. Waar het verval het kleinst is, is de stroomamplitude het grootst $= u + v$.

Met de boven aangenomen waarden voor A en B (A = 1,5 B) is ook u = 1,5 v en kan men voor verschillende waarden van t berekenen, wanneer de stroom kentert. In fig. 8.11 is voor verschillende punten af te lezen, wanneer stroomkentering valt.

De stroomkentering valt dus niet bij hoog- en bij laagwater, zoals bij een staande golf, doch ook niet 3ᵘ daarna, zoals bij een lopende golf.

Waar meerdere golven kunnen interfereren, blijkt dus, dat in de resulterende beweging het tijdsverloop vanaf hoogwater tot aan het tijdstip van stroomkentering allerlei waarden kan verkrijgen.

## 8.5 Kelvin golven

Wanneer een punt in beweging is op de roterende aarde, zal door de aardrotatie deze beweging een afwijking verkrijgen, op Noorderbreedte naar rechts, op Zuiderbreedte naar links.

Om dus de relatieve beweging ten opzichte van het aardoppervlak af te leiden, moet men een versnelling in rekening brengen, loodrecht op de momentele snelheid ter grootte van $2v\,\omega \sin \varphi$, waarin v de snelheid van het bewegende punt, $\omega$ de hoeksnelheid van de aardrotatie en $\varphi$ de breedte (Coriolis-versnelling).

Getijstromen verkrijgen dus ook deze Coriolis-versnelling.

Tengevolge daarvan kunnen stromen ontstaan loodrecht op de normale stroom, tenzij door een helling van het wateroppervlak een drukverschil ontstaat, dat de beweging loodrecht op de normale stroom verhindert.

Een lopende golf onder invloed van de aardrotatie, waarin de afwijkingen loodrecht op de stroomrichting worden verhinderd door een helling van het wateroppervlak loodrecht op de voortplanting van de golf, wordt een Kelvin-golf genoemd. Golven van dit type werden het eerst beschouwd door Sir William Thomson (later Lord Kelvin).

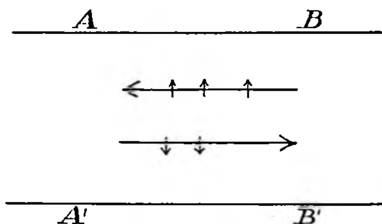


Fig. 8.13

Is in het vak ABB'A' van fig. 8.13 de stroom bij rijzend water naar rechts, dan zal door de aardrotatie het waterpeil langs A'B' hoger uitvallen dan langs AB. Is het eenmaal hoogwater, dan is de hoogwaterstand langs A'B' hoger dan langs AB.

Keert de stroomrichting om en daalt het water, dan wordt door de afwijking naar rechts het waterpeil langs AB hoger dan langs A'B'. Is het eenmaal laagwater, dan is de laagwaterstand langs AB hoger dan langs A'B'.

Door het lagere hoogwater en het hogere laagwater is het verval langs AB minder dan het verval langs A'B'.

Bij een lopende golf zal op Noorderbreedte het verval aan de zijde, die rechts ligt ten opzichte van de voortplanting van de golf, groter zijn dan aan de andere zijde.

Hieronder volgen enkele getallen, die voor een vrije lopende golf de verhouding van het verval aan beide oevers geven voor een kanaal op 45° NB.

| Diepte | Breedte van het kanaal | | |
|---|---|---|---|
| | 50 km | 100 km | 200 km |
| 50 m . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1,26 | 1,59 | 2,53 |
| 100 m . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1,18 | 1,39 | 1,93 |
| 200 m . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1,12 | 1,26 | 1,59 |
| 300 m . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1,10 | 1,21 | 1,46 |
| 400 m . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1,09 | 1,18 | 1,39 |
| 500 m . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1,07 | 1,16 | 1,34 |

## 8.6 Amphidromieën

Indien een gebied niet meer kan beschouwd worden als een betrekkelijk smal kanaal, zullen getijgolven zowel in b.v. Noord—Zuid richting als in Oost—West richting kunnen voorkomen.

De getijkrachten bleken ontbonden te kunnen worden in een component langs de meridiaan en een loodrecht daarop. Deze componenten verschillen 90° in phase; is de component langs de parallel maximum, dan is die langs de meridiaan nul en omgekeerd.

Beschouwt men een afgesloten gebied, dat t.o.v. de oceanen als klein kan worden beschouwd, begrensd door lijnen, die Noord—Zuid en Oost—West lopen, dan kan men daarin verwachten een staande golf in de richting Noord—Zuid en één in de richting Oost—West.

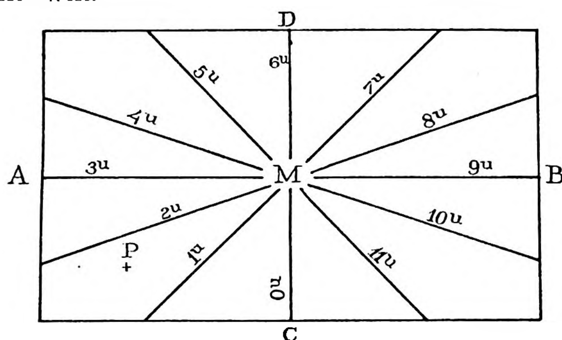



Fig. 8.14

Is de rechthoek van fig. 8.14 het bedoelde gebied, dan is AB de knopenlijn van de N—Z golf, CD die van de O—W golf.

Ondersteld wordt, dat men te maken heeft met een dubbeldaags getij, waarvan de periode gemakshalve op $12^u$ wordt gesteld.

Langs CD wordt de waterstand alleen beïnvloed door de N—Z golf. Is het dus te $0^u$ hoogwater in de punten van MC, dan valt te $6^u$ hoogwater in de punten van MD.

Langs AB wordt de waterstand alleen gewijzigd door de O—W golf. Deze verschilt in zijn beweging ¼ periode met de N—Z golf. Hoogwater langs MA valt te $3^u$, langs MB te $9^u$. In M zelf, het snijpunt van de knopenlijnen van de twee staande golven, blijft het water in de middenstand.

Voor een punt P zal, nadat het hoogwater is geweest door de N—Z golf, het water stijgen door de Oost—West golf. Zonder meer is niet te zeggen, wanneer het daar hoogwater is; in ieder geval valt dit tussen $0^u$ en $3^u$.

Trekt men lijnen over plaatsen, waar hoogwater valt te $0^u$, $1^u$, $2^u$, $3^u$, enz., dan blijken deze lijnen alle te gaan door het punt M.

Een dergelijk stelsel van lijnen over plaatsen, waar hoogwater op hetzelfde tijdstip valt, noemt men een *amphidromie ;* het punt M, waardoor alle lijnen gaan en waar het verval nul is, heet een *amphidromisch punt.*

Het verloop van de lijnen rond een amphidromisch punt hangt af van de verhouding van de amplituden der twee getijgolven.

In het algemeen geven twee staande golven, die elkander kruisen, aanleiding tot het ontstaan van een amphidromie. Het snijpunt van de knopenlijnen der staande golven is dan het amphidromische punt.

## 8.7 Amphidromieën in vrije getijgolven

De boven beschreven amphidromie werd gevonden als gevolg van getijgolven, die direct werden veroorzaakt door de getijkrachten. Zoals reeds werd opgemerkt, zijn dergelijke golven gedwongen getijgolven. Dit verschijnsel komt voor in kleine diepe binnenzeeën, zoals b.v. de Zwarte Zee. De getijbeweging is dan als regel zwak.

Sterkere getijbeweging, zoals b.v. in de Noordzee, ontstaat door vrije getijgolven. Deze ontstaan door de voortplanting van het oceanisch getij in dit gebied en staan niet meer onder de directe invloed van de getijkrachten.

Ter verklaring van de verschijnselen, die in een dergelijk gebied kunnen ontstaan, beschouwe men een rechthoekig gebied op Noorderbreedte, dat bij AB in verbinding staat met een oceaan en aan de andere zijde gesloten is. De getijgolf, die daardoor in het gebied ontstaat, zal bij ideale terugkaatsing een staande golf zijn. Onderstel dat twee knopenlijnen worden gevormd, één langs aa', één langs bb'. Verder wordt aangenomen, dat de getijbeweging een periode heeft van $12^u$ en dat het te $0^u$ laagwater is in het gebied tussen aa' en bb', hoogwater in het overige gedeelte.

Te $3^u$ is het water dan overal in de middenstand en lopen de sterkste stromen (fig. 8.15). De afwijking door de aardrotatie zal nu bij a en b' de waterstanden verhogen, bij a' en b verlagen.

Te $6^u$ zijn de stromen weer nul en is het hoogwater in het gebied, waar het te $0^u$ laagwater was en laagwater, waar het te $0^u$ hoogwater was.

Te $9^u$ is het stroombeeld dat van fig. 8.16, waarbij de afwijking door de aardrotatie hoogwater bij a' en b, laagwater bij a en b' veroorzaakt.

In de punten P en Q op de knopenlijnen zal het water geen verticale beweging vertonen.

Op een lijn door P en Q heeft men nu te $0^u$ hoogwater ten Noorden van aa' en ten Zuiden van bb', te $6^u$ hoogwater op het gedeelte tussen aa' en bb' (fig. 8.17).

Op de knopenlijnen heeft men te $3^u$ hoogwater op Pa en Qb', te $9^u$ op Qb en Pa'.

Tevens zal het te $6^u$ hoogwater zijn op de lijn, die evenwijdig aan de knopenlijnen de afstand ab halveert.

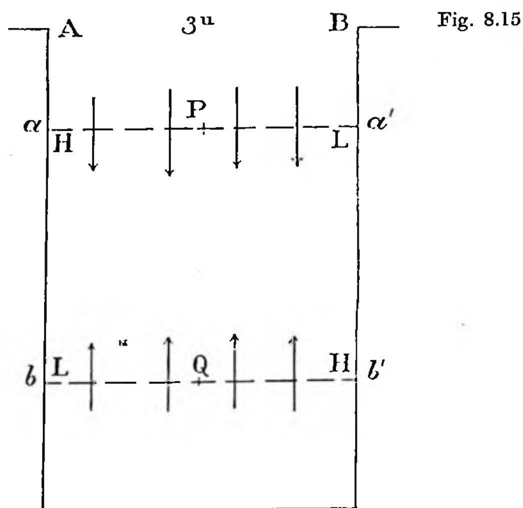


Fig. 8.15

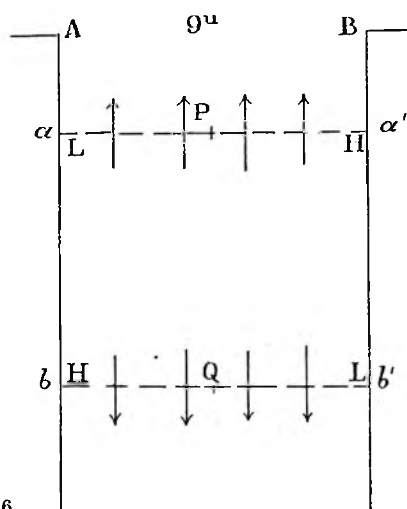


Fig. 8.16

De lijnen voor gelijktijdig hoogwater te 0u, 3u, 6u en 9u wijzen dus op het voorkomen van een amphidromie, zoals in fig. 8.14 geschetst is.

Men kan dit verschijnsel beschouwen als een interferentie van de staande golf in de lengteas van het gebied met dwarsgolven, die ontstaan door de aardrotatie.

De gegeven verklaring is zeer oppervlakkig. Een mathematische afleiding van de beweging biedt grote moeilijkheden.

Opgemerkt wordt, dat bij een dubbeldaags getij de amphidromie voor een getijgolf onder directe invloed van de getijkrachten een draaiïng heeft tegengesteld aan die, welke ontstaat door de aswenteling van de aarde.

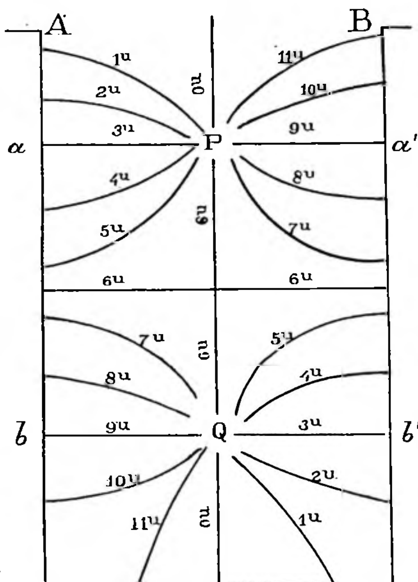



Fig. 8.17

Bij de gegeven verklaring werd de amphidromie gevonden op het midden van de knopenlijn. Aangenomen werd, dat de vrije getijgolf, die het gebied binnentreedt, zonder verlies van energie wordt teruggekaatst.

Is de teruggekaatste golf zwakker dan de intredende golf, dan ontstaat geen staande golf. Op de plaats, waar men de knopen zou verwachten, vindt men nu een klein verval, door de tegen elkander in lopende golven. Op die plaats staat bij hoog- en bij laagwater sterke stroom.

In fig. 8.18 is een dwarsdoorsnede van het gebied aangegeven over een der knopenlijnen. Is aa' de gemiddelde waterstand en bb' de hoogwaterstand door de twee golven, dan loopt op het tijdstip van hoogwater een sterke stroom loodrecht op het vlak van tekening, die wij aannemen naar voren. Door de aardrotatie wordt dan het peil verhoogd bij b, verlaagd bij b'.

Wordt hierdoor de stand van het wateroppervlak cc', dan blijft het water bij p op gemiddeld niveau.

Bij de laagwaterstand dd' (fig. 8.19) loopt de stroom naar achter en geeft de aardrotatie bij d' verhoging, bij d verlaging van het waterpeil. Is nu ee' het wateroppervlak, dan blijft weder bij p het water in gemiddelde stand.

Is dus de teruggekaatste golf zwakker dan de oorspronkelijke, dan komt het amphidromisch punt niet te liggen in het midden van het gebied.

Wanneer de helling van het wateroppervlak door de afwijking der bewegingen naar rechts een verhoging of verlaging geeft, die kleiner is dan het halve verval van de resulterende golf, dan komt geen amphidromisch punt voor.

Vandaar dat in betrekkelijk smalle gebieden geen amphidromische punten voorkomen. In de Noordzee b.v. komen zij wel, in het Engelse Kanaal niet voor.

Waar bij een vrije getijgolf in een aan één zijde gesloten gebied geen amphidromiën voorkomen, zullen dus de lijnen over plaatsen, waar op hetzelfde tijdstip hoogwater valt, niet in één punt samenkomen, doch wel convergeren naar een punt buiten het gebied.

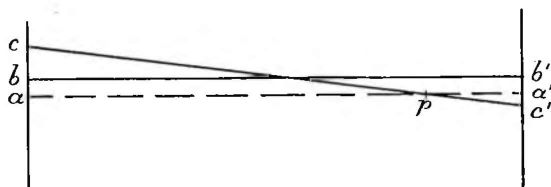



Fig. 8.18

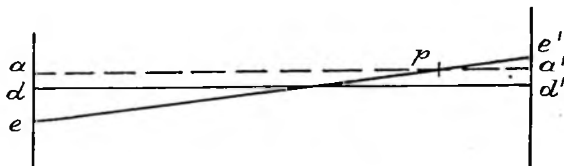



Fig. 8.19

In de boven gegeven beschouwing is telkens een periode van 12$^{u}$ aangenomen, dus feitelijk alleen een golfbeweging door het $S_2$ getij beschouwd. Elke getijkracht, hetzij dubbeldaags, hetzij enkeldaags, geeft aanleiding tot analoge verschijnselen.

De getijbeweging door alle getijkrachten te zamen kan dus een gecompliceerd karakter verkrijgen. In een bepaald gebied kan dus in het amphidromische punt, dat door het sterkste getij wordt veroorzaakt, door andere partiële getijden nog een verticale beweging bestaan.

### 8.8 Draaiende getijstromen

De getijgolven geven niet alleen verticale, doch ook horizontale bewegingen, de getijstromen.

Hoe deze verlopen bij lopende en staande golven, is boven reeds besproken.

Bij de interferentie van golven, die elkander kruisen, hebben de stromen, door elk van deze golven veroorzaakt, in het algemeen verschillende richtingen.

Om na te gaan, welk stroombeeld hierdoor kan ontstaan, denke men zich een golf, waarvan de stromen lopen langs de richting I van fig. 8.20.

Is OA de maximum stroomsnelheid langs I, waarvan aangenomen wordt, dat dit de snelheid is te 0$^{u}$, dan worden de snelheden te 1$^{u}$, 2$^{u}$, 3$^{u}$, enz. resp. aangegeven door de vectoren O 1, O 2, O 3 enz. op OA.

Een tweede golf, waarvan de stromen lopen langs de richting II, heeft nu de stroomsnelheid OB b.v. te 3$^{u}$.

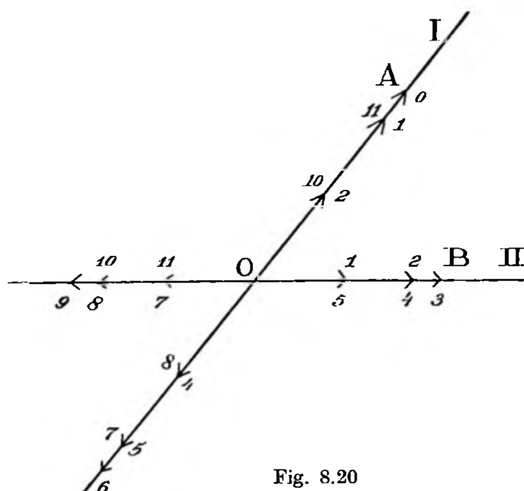


Fig. 8.20

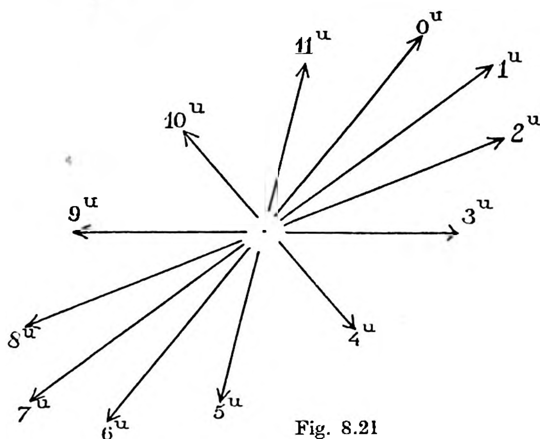


Fig. 8.21

De vectoren O 1, O 2, O 3 enz. op OB geven nu de stroomsnelheden voor deze golf te $1^u$, $2^u$, $3^u$, enz.

Vormt men nu telkens de resultante van de stromen van beide golven te $0^u$, $1^u$, $2^u$, $3^u$ enz., dan ontstaat het beeld van fig. 8.21.

De resulterende stroom verandert dus niet alleen van kracht, doch ook van richting.

Er ontstaat dus een draaiende getijstroom.

In een uitgestrekt zeegebied zal dit als regel voorkomen.

Alleen als de stromen van de twee golven op hetzelfde tijdstip hun maximum waarde hebben, dan zal de resulterende stroom een zuiver heen en weer trekkende stroom zijn.

De zin van de draaiïng van de stroom zal geheel afhangen van het phaseverschil der stromen, doch is steeds op een bepaalde plaats dezelfde.

Hierbij is alleen het geval beschouwd van twee stromen met dezelfde periode. Wanneer men golven beschouwt met verschillende perioden, wordt het stroombeeld ingewikkelder. Het verloop van de stroom vertoont dan eenzelfde beeld als het verloop van de getijkrachten, dat in fig. 1.4 werd gegeven.

### 8.9 Draaiende getijstromen bij aflopende kusten

Wanneer een getijgolf bestaat in een kanaal, waarvan de doorsnede niet rechthoekig is, doch waarvan de zijkanten hellend verlopen, kunnen ook stromen in dwarsrichting voorkomen, die met de normale stroom in het kanaal aanleiding geven tot draaiende getijstromen.

Op het moment van hoogwater is er geen aanleiding tot het ontstaan van dwarsstromen. Begint het water te dalen, dan zal het van de hellende kust afstromen loodrecht op de as van het kanaal.

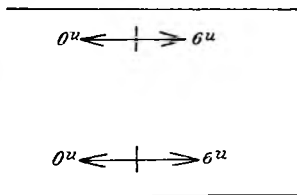



Fig. 8.22

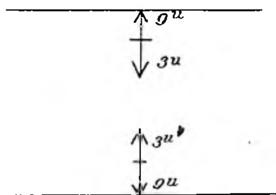



Fig. 8.23

Er ontstaan dus dwarsstromen van de kust af, die bij hoog- en bij laagwater nul zijn en hun grootste kracht hebben, als het water in de middenstand is.

Na laagwater stroomt het water ook langs de hellende oevers naar de kust toe. De dwarsstroom heeft weer de grootste kracht, als het water in middenstand is.

Beschouwt men een lopende golf, dan is de grootste snelheid van de normale stroom in de golf die bij hoog- en bij laagwater.

Wanneer dus in een Oost—West lopend kanaal zich een lopende golf beweegt in de richting West, dan geeft fig. 8.22 de stroomrichtingen voor b.v. $0^u$ (hoogwater) en $6^u$ (laagwater), terwijl fig. 8.23 de stroomrichtingen geeft te $3^u$ en te $9^u$. Dicht bij de oevers heeft men dus stromen van veranderlijke richting.

Beweegt men zich dus met de richting van voortplanting van de golf, dan heeft men aan de linkerzijde stromen, die draaien met de richting van de wijzers van het uurwerk, aan de rechterzijde stromen, die draaien tegen de richting van de wijzers van een uurwerk.

# IX. DE GETIJDEN DER OCEANEN

## 9.1 Algemeen

De oplossing van het vraagstuk, welke getijbeweging in de oceanen zal ontstaan door de werking van de getijkrachten, geeft een groot aantal moeilijkheden.

De leer van de beweging van vloeistoffen onder invloed van daarop werkende krachten, de hydrodynamica, geeft vergelijkingen, waaruit, als de krachten bekend zijn, de beweging kan worden afgeleid.

De hydrodynamica stelt moeilijker wiskundige problemen dan de dynamica der vaste lichamen.

Behalve met de direct gegeven krachten moet rekening worden gehouden met de drukveranderingen, die in de vloeistof ontstaan door de golfbeweging en met het feit, dat een gegeven ruimte binnen de vloeistof steeds dezelfde hoeveelheid vloeistof moet bevatten.

De snelheid van een vloeistofelement hangt verder niet alleen af van de tijd, doch ook van de plaats.

In beschouwingen over de getijbeweging kan men alleen tot bruikbare resultaten komen, als men bepaalde vereenvoudigingen aanneemt. Hiertoe behoren de reeds vroeger ingevoerde vereenvoudigingen, dat de verticale beweging een amplitude heeft, die klein is ten opzichte van de waterdiepte en dat de golflengte groot is ten opzichte van de waterdiepte.

Zelfs met deze vereenvoudigingen zal de grillige begrenzing der oceanen en de veranderlijke waterdiepte leiden tot een onoplosbaar vraagstuk.

Om tot een denkbeeld te komen van wat men in oceanische gebieden kan verwachten, neemt men dus aan, dat de diepte constant is of volgens een bepaalde wet verandert. Verder neemt men aan, dat de gebieden, die men beschouwt, een eenvoudige begrenzing hebben.

Hoewel dit niet de feitelijke toestand is, komt men op deze wijze tot de kennis van bewegingen, die men in grote trekken in uitgebreide zeegebieden kan verwachten.

## 9.2 Evenwichtstheorie

De eerste poging, om tot een algemene verklaring van de getijbeweging te komen, was de reeds vroeger genoemde evenwichtstheorie, die door Newton werd geformuleerd.

Hierbij werd aangenomen, dat de aarde geheel met water was bedekt en op ieder moment het wateroppervlak loodrecht staat op de resultante van getijkracht en aantrekkingskracht van de aarde, zoals het geval zou zijn, als de vloeistof in evenwicht was onder de invloed van de daarop werkende krachten. Dit gaf aanleiding tot de naam evenwichtstheorie. De hoogste waterstanden vallen hier in de aardse projectie van het getijverwekkend hemellichaam en in het tegenpunt daarvan. Door de aswenteling van de aarde verplaatst zich dit punt over de aardoppervlakte en doet het getij zich voor als een golf, die voor het maansgetij in $24^{u}50^{m}$ langs een breedteparallel rond de aarde loopt.

Bij deze theorie wordt geen gebruik gemaakt van de wetten der hydrodynamica. Alleen als de oceanen zeer diep waren, dieper dan zij in werkelijkheid zijn, zou de evenwichtstheorie de werkelijkheid voor een geheel met water bedekte aarde benaderen.

### 9.3 De onderzoekingen van Laplace voor een geheel met water bedekte aarde

Laplace gaf een oplossing van het vraagstuk der getijbeweging voor een geheel met water bedekte aarde en onderzocht daarbij afzonderlijk een getij, veroorzaakt door dubbeldaagse getijkrachten en één door enkeldaagse getijkrachten.

Hij bracht in rekening de getijkracht, de zwaartekracht en de versnelling, die ontstaat door de aswenteling van de aarde.

Uit de bewegingsvergelijkingen bepaalde hij de getijbeweging voor het geval, waarbij de diepte op een gegeven wijze afhangt van de geografische breedte. Voor deze gevallen vond hij betrekkelijk eenvoudige oplossingen. Minder eenvoudig bleek de oplossing, wanneer de diepte als constant werd aangenomen.

Voor dit laatste geval zijn enkele gevallen nader uitgewerkt.

De toestand blijkt af te hangen van de verhouding $\frac{c^2_1}{c^2}$, waarin c de golfsnelheid van een vrije lopende golf voor de gegeven diepte en $c_1$ de snelheid van de verplaatsing van de aardse projectie, als de declinatie van het hemellicht nul is.

Hij werkte uit de gevallen, waarbij de waterdiepten waren 2200 m, 4400 m en 8800 m, terwijl later het geval werd onderzocht voor diepte 17600 m, welke gevallen overeenkomen met

$$\frac{c_1^2}{c^2} = 10,\ 5,\ 2{,}5 \text{ en } 1{,}25.$$

Voor deze gevallen is berekend, welke de verhouding is van het dynamische getij en het verval volgens de evenwichtstheorie.

Bij de diepte van 2200 m valt volgens de onderzoekingen van Laplace hoogwater als de evenwichtstheorie laagwater zou geven. Het getij voor kleine waterdiepte heet dan omgekeerd of geïnverteerd. Voor diepten groter dan 8800 m vallen de tijdstippen van hoogwater volgens de dynamische theorie en de evenwichtstheorie samen.

Daar voor het $M_2$ getij de snelheid $c_1$ anders is dan voor het $S_2$ getij, zullen de verhoudingen van dynamisch getij en evenwichtsgetij voor de verschillende partiële getijden niet dezelfde zijn. De verhouding van de amplituden der partiële getijden bij het dynamisch getij zijn dus niet dezelfde als bij het getij volgens de evenwichtstheorie.

Voor een getijperiode van $12^u$ werd gevonden:

| waterdiepte | Verhouding ampl. aan equator tot getij evenwichtstheorie |
|---|---|
| 2 200 m . . . . . . . . | — 7,4 |
| 4 400 m . . . . . . . . | — 1,8 |
| 8 800 m . . . . . . . . | 11,3 |
| 17 600 m . . . . . . . . | 1,9 |

Bij diepten, die veel groter zijn dan 17 600 m, nadert de verhouding tot 1 en zou dus het evenwichtsgetij voorkomen in een oceaan met zeer grote waterdiepte.

Als de diepte afneemt, wordt het getij steeds sterker dan dat volgens de evenwichtstheorie om bij diepten iets onder 8800 m zeer sterk te worden. Bij geringere diepte is het getij geïnverteerd (aangegeven door de negatieve verhouding).

Bij diepten van 2200 m is het getij over de gehele aarde geïnverteerd, bij diepten van 4400 m neemt de amplitude af tot 18° breedte, waar de amplitude nul is om op hogere breedte weer toe te nemen, met hoogwater op het tijdstip volgens de evenwichtstheorie.

Voor een getijperiode van $24^u$ vond Laplace, dat bij constante diepte geen verticale getijbeweging voorkwam. Men heeft dan alleen enkeldaagse stromen.

Het getij volgens Laplace bleek een lopende golf op iedere breedte te geven, waarvan de amplitude afhangt van de breedte.

### 9.4 Gedwongen getijgolven in doorlopende kanalen

Ongeveer in 1845 ontwikkelde Airy een theorie der getijden in betrekkelijk smalle kanalen.

Het eenvoudigste geval is hierbij een kanaal, dat rond de aarde loopt tussen twee breedteparallellen.

Meet men de afstanden x langs de breedteparallel in de richting West vanaf de nulmeridiaan, dan kan men de betrekking, die in par. 8.1 is gegeven voor een vrije golf, wijzigen door voor een gedwongen golf te stellen

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -g\frac{\partial \eta}{\partial x} + K \quad \text{en} \quad \frac{\partial \eta}{\partial t} = -h\frac{\partial v}{\partial x},$$

waarin K de getijkracht per massa-eenheid.

Deze hangt samen met de getijhoogte volgens de evenwichtstheorie, zoals op blz. 147 werd aangegeven.

Voor de getijhoogte volgens de evenwichtstheorie kan men zetten $z = y \cos(nt - \alpha)$, waarin de amplitude y afhangt van de breedte en $nt - \alpha$ afhangt van de lengte t.o.v. de nulmeridiaan.

Is $c_1$ de snelheid, waarmede de golftop volgens de evenwichtstheorie zich voortplant, T de getijperiode, dan is voor twee plaatsen, waarvan de afstand gelijk is aan de golflengte, $\lambda = c_1 T$.

Men heeft nu $x : \lambda = \alpha : 2\pi$.

Daar $\lambda = c_1 T$ volgt hieruit $x : c_1 T = \alpha : 2\pi = \alpha : nT$, dus $\alpha = \dfrac{nx}{c_1}$.

De getijhoogte volgens de evenwichtstheorie is dus

$$z = y\cos\left(nt - \frac{nx}{c_1}\right) = y\cos n\left(t - \frac{x}{c_1}\right).$$

Tevens is $K = g\dfrac{\partial z}{\partial x} = g\dfrac{yn}{c_1}\sin n\left(t - \dfrac{x}{c_1}\right)$ (zie par. 1.5).

Men heeft dus $\dfrac{\partial v}{\partial t} = -g\dfrac{\partial \eta}{\partial x} + g\dfrac{yn}{c_1}\sin n\left(t - \dfrac{x}{c_1}\right)$.

$\eta$ en v zijn nu functies van de vorm $\eta = A\cos n\left(t - \dfrac{x}{c_1}\right)$ en $v = v_0 \cos n\left(t - \dfrac{x}{c_1}\right)$

Substitueert men dit in $\frac{\partial \eta}{\partial t} = - h \frac{\partial v}{\partial x}$,

dan is
$$- A n \sin n\left(t - \frac{x}{c_1}\right) = - \frac{h n v_0}{c_1} \sin n\left(t - \frac{x}{c_1}\right).$$

Zal dit gelden voor alle waarden van t, dan moet $A = \frac{h v_0}{c_1}$ of $v_0 = \frac{A c_1}{h}$ zijn.

De vergelijking $\frac{\partial v}{\partial t} = - g \frac{\partial \eta}{\partial x} + K$ wordt dan

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[\frac{A c_1}{h} \cos n\left(t - \frac{x}{c_1}\right)\right] = - g \frac{A n}{c_1} \sin n\left(t - \frac{x}{c_1}\right) + g \frac{y n}{c_1} \sin n\left(t - \frac{x}{c_1}\right)$$

$$- \frac{A c_1 n}{h} \sin n\left(t - \frac{x}{c_1}\right) = - g \frac{A n}{c_1} \sin n\left(t - \frac{x}{c_1}\right) + g \frac{y n}{c_1} \sin n\left(t - \frac{x}{c_1}\right).$$

Zal dit juist zijn voor alle waarden van t, dan moet

$$\frac{A c_1}{h} = \frac{A g}{c_1} - \frac{g y}{c_1} \text{ zijn.}$$

Met $c = \sqrt{gh}$, de snelheid van de vrije golf bij een diepte h, is dan

$$A = \frac{y}{1 - \frac{c_1^2}{c^2}}.$$

Is dus y de amplitude van het getij volgens de evenwichtstheorie, dan is de gedwongen golf bepaald door

$$\eta = \frac{y}{1 - \frac{c_1^2}{c^2}} \cos n\left(t - \frac{x}{c_1}\right).$$

Is $c_1$ groter dan c, dus verplaatst zich de golftop volgens de evenwichtstheorie sneller dan de vrije golf voor de gegeven waterdiepte, dan wordt de amplitude negatief; hoogwater van de gedwongen golf valt als de evenwichtstheorie laagwater geeft. Het getij is dan geïnverteerd.

Is $c_1 < c$, dan is het getij direct. Nadert c tot $c_1$, dan ontstaat een zeer sterk getij.

Voor verschillende waarden van h volgt hier een overzicht van de waarden van $c = \sqrt{gh}$.

| | | | |
|---|---|---|---|
| h 1000 m | c 99 m/sec. | h 10 000 m | c 314 m/sec. |
| h 2000 m | c 141 m/sec. | h 20 000 m | c 440 m/sec. |
| h 5000 m | c 220 m/sec. | h 22 000 m | c 464 m/sec. |

Waar de snelheid van de golftop der evenwichtstheorie voor het maansgetij op 0° breedte ongeveer 450 m/sec., op 60° breedte ongeveer 225 m/sec. is, zal in een kanaal op lage breedte het getij geïnverteerd, op hoge breedte direct zijn.

Bij b.v. een waterdiepte van 6000 m zou de verticale getijhoogte aan de equator 0,41 maal die van de evenwichtstheorie zijn, terwijl het getij geïnverteerd is. Op

65° breedte is de getijhoogte 2,60 maal die van de evenwichtstheorie en is het getij direct.

Voor een stelsel van van elkander afgescheiden kanalen, die zich uitstrekken langs de breedteparallellen, zou men dus de geïnverteerde getijden vinden over het grootste gedeelte van de aardoppervlakte en op hoge breedte directe getijden. Op een bepaalde breedte zou een theoretisch oneindig sterk getij voorkomen ($c_1 = c$).

Zou men de afscheidingen tussen de kanalen kunnen verwijderen en dus een gelijkmatig met water bedekte aarde verkrijgen, dan kan niet uit de beweging in de afzonderlijke kanalen worden geconcludeerd wat nu de getijbeweging zal zijn. Men moet dan rekening houden met de afwijkingen door de aardrotatie en de componenten van de getijkracht langs de meridiaan.

De overgang van geïnverteerde naar directe getijden is dan niet een breedteparallel, waar resonantie optreedt, doch volgens de onderzoekingen van Laplace een breedteparallel, waar het verval van het getij nul is.

### 9.5 Theorie der staande golven

De lopende golven volgens de ontwikkelingen van Laplace en van Airy kunnen niet bestaan, daar de kusten der vastelanden deze golven in hun voortplanting hinderen. Alleen in het gebied rond het Zuidpool-vasteland zou een dergelijke golf mogelijk zijn.

Door de terugkaatsing tegen kusten zullen staande golven ontstaan en zal resonantie optreden bij een bepaalde diepte en lengte van een zeegebied.

Door Rollin Harris werd in het laatste gedeelte van de vorige eeuw de aandacht op deze resonantie gevestigd.

Hij trachtte in de verschillende oceanen gebieden vast te stellen, waarin de vrije schommeling dezelfde periode had als een bepaalde getijkracht.

Hierbij verwaarloosde hij, dat de schommelingen in een bepaald gebied ook beïnvloed werden door de schommelingen in aangrenzende gebieden en dat de afwijking door de aardrotatie ook werkte op de getijbeweging der oceanen.

Een afdoende verklaring van het getijverschijnsel der oceanen konden zijn hypothesen dus ook niet geven. Wel werden enkele eigenaardigheden gevonden. De staande golf in de Grote Oceaan door het $M_2$ getij gaf b.v. een knopenlijn over het eiland Tahiti; het maansgetij geeft daar dan geen verticale beweging. In werkelijkheid blijkt daar het getij practisch een zonsgetij te zijn.

Tussen Australië en het Zuidpool-vasteland zijn de omstandigheden gunstig voor resonantie voor het $S_2$ getij. In werkelijkheid is het zonsgetij daar relatief sterk.

### 9.6 Verschillende oplossingen voor relatief eenvoudig begrensde gebieden

Voor verschillende relatief eenvoudig begrensde gebieden zijn de te verwachten getijbewegingen afgeleid.

Zo behandelde Goldsbrough in 1913 o.a. het geval van een poolzee, begrensd door de parallel van 60° breedte.

Voor de parallel van 60° breedte vond hij de volgende verhoudingen van het getij tot dat van de evenwichtstheorie:

| Diepte | Enkeldaags getij | Dubbeldaags getij |
| --- | --- | --- |
| 2200 m . . . . . . . . . . . | — 2,86 | 1,07 |
| 4400 m . . . . . . . . . . . | — 1,16 | 1,03 |
| 8800 m . . . . . . . . . . . | — 0,19 | 1,01 |
| 17600 m . . . . . . . . . . . | 0,39 | 1,00 |

In 1914 publiceerde Goldsbrough oplossingen voor een gebied, begrensd door twee breedteparallellen, waarvan alleen de volgende getallen worden genoemd:

*Verhouding van de amplituden van werkelijk getij en getij volgens de evenwichtstheorie.*

Gebied, tussen de parallellen 30° N en 14°,5 N

| Diepte | Breedte 30° N | | Breedte 14°,5 N | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| | enkeldaags | dubbeldaags | enkeldaags | dubbeldaags |
| 2200 m . . . . . . . . | — 0,10 | 0,48 | — 0,53 | 0,39 |
| 4400 m . . . . . . . . | — 0,39 | — 0,58 | — 0,99 | — 0,07 |
| 8800 m . . . . . . . . | — 0,84 | — 1,46 | — 1,63 | — 0,78 |
| 17600 m . . . . . . . . | — 42,6 | 1,81 | — 31,0 | 0,37 |

Gebied tussen de parallellen 30° N en 14°,5 Z

| Diepte | Breedte 30° N | | Breedte 14°,5 Z | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| | enkeldaags | dubbeldaags | enkeldaags | dubbeldaags |
| 2200 m . . . . . . . . | 1,95 | — 0,59 | 3,48 | — 0,46 |

Deze sterk uiteenlopende getallen wijzen erop, dat getijden in het algemeen sterk onder de invloed staan van de aard der begrenzing van het beschouwde gebied.

Het onderzoek naar het getijverloop in een oceaan, begrensd door twee meridianen, is daarom belangrijk, omdat b.v. het getij in een oceaan, begrensd door twee meridianen met 60° lengteverschil, een denkbeeld kan geven van getijden in een oceaan als de Atlantische Oceaan en in een oceaan, begrensd door twee meridianen met 180° lengteverschil, een idee geeft van wat verwacht kan worden in de Grote Oceaan.

Door de grote moeilijkheden, die dit probleem oplevert, is het nog slechts gedeeltelijk opgelost.

In ieder geval blijken verschillende amphidromische stelsels voor te komen en zijn de maximum amplituden groter dan die volgens de evenwichtstheorie.

Hoewel dus het probleem der getijbeweging op verschillende wijzen is aangevat en daardoor een inzicht is verkregen in verschillende verschijnselen, die daarbij kunnen voorkomen, biedt de bepaling van de getijbeweging in de oceanen, zoals zij werkelijk zijn, door de willekeurige begrenzingen der oceanen onoplosbare moeilijkheden.

# X. VOORBEELDEN

## 10.1 Benadering getijconstanten (Admiralty methode)

*Instructie voor de becijfering van harmonische getijconstanten uit uurwaarnemingen, verricht over 29 of 15 etmalen*

1. Zet de uurwaarnemingen van een serie van 29 of 15 etmalen af op millimeterpapier ter contrôle van de waarnemers en ter eventuele correctie van blijkbaar foutieve aflezing of ter interpolering van ontbrekende waarnemingen.

2. De verkregen en aangevulde of verbeterde waarnemingen worden ingeschreven in schema I (zie blz. 178 en 182). Vul tevens in de plaats van waarneming met lengte en breedte, benevens het midden van de waarnemingsperiode en de gebruikte standaardtijd (op te geven t.o.v. M.T.G.).

3. Vul met behulp van tafel 1 (zie blz 200), die vermenigvuldigers geeft (+ 1, — 1, 0) voor bepaalde uren, schema II (zie blz. 179 en 183) in, waardoor men de dagelijkse + en — bijdragen verkrijgt voor bepaalde functies $X_1$, $Y_1$, $X_2$, $Y_2$, $X_4$ en $Y_4$, voorstellende combinaties van uur-hoogten.
   Een contrôle op deze becijfering heeft men, doordat (de tekens buiten beschouwing latend) de sommen van de + en — waarden voor één dag onder $X_1$, $Y_1$, $X_2$, $Y_2$, $Y_4$ (niet $X_4$) steeds gelijk zijn en $X_0$ opleveren, welke waarde ingevuld wordt in schema III (zie blz. 180 en 184).
   Vervolgens controlere men of (wederom de tekens buiten beschouwing latend) per dag de som van die waarden van schema I, welke volgens tafel 1 de vermenigvuldiger 0 hebben, opgeteld bij $X_4$ (+) en $X_4$ (—), gelijk is aan $X_0$.

4. De volgende kolommen van schema III geven de algebraïsche sommen (dus teken *wel* in rekening brengen) van de gelijknamige kolommen in schema II. Ter voorkoming van negatieve getallen wordt echter een vast bedrag „B" opgeteld bij de + waarden, welk bedrag onmiddellijk onder het hoofd van de kolom wordt ingevuld. Voor dit vaste bedrag wordt genomen een veelvoud van 100, of, indien dit niet voldoende is, een veelvoud van 1000 (dus *niet* b.v. 1300).

5. Contrôle op deze kolommen van schema III bestaat niet. De bedragen moeten regelmatig verlopen.

6. Van de 29 (15) waarden van b.v. $X_1 + B_1$ moeten nu berekend worden de functies $X_{10}$, $X_{12}$, $X_{1b}$, $X_{13}$, $X_{1c}$, waarin de tweede index aangeeft, welke vermenigvuldigers van tafel 2 (zie blz. 201) toegepast dienen te worden op de waarden van $X_1 + B_1$.
   $X_{10}$ (een, nul), $X_{12}$ (een, twee), $X_{1b}$ (een, b), enz. worden gevonden door de waarden van $X_1 + B_1$ te vermenigvuldigen met de waarden, welke tafel 2 geeft in de kolommen 0, 2, b, enz.
   Voor het invullen van schema IV (zie blz. 180 en 184) worden de bedragen, verkregen door toepassing van de tweede index b, c of d genoteerd in het daarvoor bestemde vakje in de kolom „Bijdragen X", terwijl in de kolom „teken" de + of — wordt ingevuld. Wanneer deze bedragen worden ge-

controleerd, zoals later aangegeven zal worden, geeft de algebraïsche som (dus met teken) de waarde voor de kolom X (de positieve en negatieve waarden van het vaste bedrag „B" vallen tegen elkaar weg).
Is de tweede index nul, dan zijn blijkens tafel 2 alle vermenigvuldigers + 1. Men krijgt dus b.v. voor $X_{10}$ de som van 29 (15) waarden van $X_1 + B_1$, waarvan afgetrokken moet worden 29 (15) × B, om $X_{10}$ te krijgen.
Voor $X_{00}$ is geen B, zodat slechts 1 regel nodig is.
Drie regels zijn nodig bij de tweede index 2, 3 of 4. De eerste regel geeft de waarde van positieve vermenigvuldigers maal $X_1 + B_1$; de tweede, negatieve vermenigvuldigers maal $X_1 + B_1$ en de derde het verschil in aantal positieve en negatieve vermenigvuldigers maal $B_1$, met het negatieve teken bij een 29-daagse serie en met het positieve teken bij een 15-daagse serie. De algebraïsche som geeft de waarde van kolom X.

7. Contrôle van de kolommen „Bijdragen X en Y" is als volgt mogelijk (zie voorbeeld korte serie).
De tekens buiten beschouwing latend, geven de eerste twee bijdragen van $X_{12}$ tot som: 9629 + 10409 = 20038.
De eerste twee bijdragen van $X_{13}$ geven eveneens: 6905 + 13133 = 20038.
De som der termen, die met nul vermenigvuldigd worden voor de tweede aanduiding b, voor zover betreft $X_{1b}$, geeft 1268 + 1266 + 1280 = 3814.
Dit opgeteld bij de bijdragen voor $X_{1b}$ geeft: 3814 + 6366 + 9858 = 20038.
Bij $X_{1c}$ verkrijgt men eveneens: 1266 + 8872 + 9900 = 20038.
De gemeenschappelijke som 20038 is natuurlijk gelijk aan de bijdrage voor $X_{10}$, afgeleid uit $X_1 + B_1$, zodat afzonderlijke berekening ervan niet nodig was geweest.
De functies $X_{20}$, $X_{22}$, $X_{23}$, en $X_{2b}$, $X_{2c}$ (bij welke laatste met de vermenigvuldiger 0 rekening moet worden gehouden) kunnen onderling vergeleken worden, evenals $X_{42}$, $X_{44}$, en $X_{4b}$, $X_{4d}$.
De Y-functies worden op overeenkomstige wijze gecontroleerd.

8. Schema IV wordt verder afgemaakt door de algebraïsche sommen met teken te vermelden onder X en Y.

9. In schema V en VI (zie blz. 181 en 185) worden de waarden van schema IV gebruikt met hun teken. Deze waarden worden vermenigvuldigd met de getallen uit tafel 3a (3b) (zie blz. 202 en 203) en in gelijke kolommen als die der tafel ingevuld. Vakjes zonder waarde worden door drie punten aangeduid. Voor het optellen der waarden dienen deze recht onder elkaar ingevuld te worden.

10. De som der bedragen in elke kolom van schema V wordt vermeld achter „V: PR cos *r*" in schema VII; eveneens van schema VI achter „VI: PR sin *r*". Vul de waarden van P en *p* in met behulp van tafel 3a (3b).

11. Bepaal de hoek *r* (in graden) uit de formule $\text{tg}\, r = \dfrac{\text{PR} \sin r}{\text{PR} \cos r}$ met behulp van tafel 4 (zie blz 204);
aangezien PR als positief wordt beschouwd, wordt de waarde van *r* bepaald door de volgende regel:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| teken van PR cos $r$ . . . . . | + | — | — | + |
| teken van PR sin $r$ . . . . . | + | + | — | — |
| $r$ ligt tussen . . . . . . . . . | 0° en 90° | 90° en 180° | 180° en 270° | 270° en 360° |

Bereken PR uit de formule: $PR = \sqrt{(PR \cos r)^2 + (PR \sin r)^2}$ met behulp van een logarithmentafel of een kwadraattafel, dan wel uit (PR cos $r$) sec $r$ of uit (PR sin $r$) cosec $r$, waarbij steeds met de grootste waarde van PR cos $r$ resp. PR sin $r$ gewerkt moet worden.

12. Intussen is bovenaan schema V—VIII ingevuld datum en jaar van de middelste dag der periode, lengte, breedte en standaardtijd als vermeld in punt 2. Voorts wordt de waarde van $f$ geïnterpoleerd uit tafel 5 (zie blz. 205) voor midden periode; eveneens $u$ uit tafel 9 (zie blz. 207).
Tafels 6, 7 en 8 geven vervolgens resp. $V'$, $V''$ en $V'''$, de rechterhelft van tafel 7 geldt voor schrikkeljaren. Zoek $V'''$ voor het midden van de periode.
Vul in de som $V$ en gebruik de aanwijzingen aan de rechterzijde onderaan schema VIII.

13. Vul daarna schema VIII zover mogelijk in uit schema VII en maak daarna schema VIII af volgens de daarin gegeven aanwijzingen.

14. Vul thans de ontbrekende gegevens in schema VII in, uit schema VIII.
A wordt thans verkregen door deling van PR door het product van P, $f$ en $(1 + W)$, terwijl $g = V + u + w + p + r$ (eventueel verminderd met veelvouden van 360°). A en $g$ zijn de getijconstanten.
$S_0$ moet eventueel gecorrigeerd worden voor het verschil tussen nul van de peilschaal en reductievlak, benevens wellicht voor plaatselijke meteorologische storingen. Men krijgt dan de hoogte van het middenstandsvlak boven het reductievlak van de kaart.

*Opmerking.*

Gebruik van de formulieren, verstrekt door het bureau Hydrografie, vereenvoudigt het werk van de becijfering aanmerkelijk.

*Getijanalyse volgens Admiralty methode uit een lange serie (29 etmalen)*

Plaats:

Soerabaja (Madoerakade) 7° 11',7 Sb, 112° 44',5 El. Middelste datum: 24 Oct. 1947 Standaardtijd: M.T.G. + 8 h

SCHEMA I

| Datum \ Uur | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 Oct. . . | 232 | 225 | 216 | 204 | 198 | 216 | 228 | 241 | 250 | 242 | 221 | 199 | 168 | 129 | 102 | 79 | 68 | 76 | 100 | 130 | 171 | 210 | 231 | 236 |
| 11 „ . . | 230 | 218 | 209 | 192 | 180 | 191 | 210 | 231 | 247 | 255 | 246 | 223 | 191 | 159 | 125 | 82 | 70 | 78 | 91 | 113 | 141 | 176 | 210 | 236 |
| 12 „ . . | 234 | 220 | 207 | 179 | 161 | 160 | 177 | 200 | 229 | 263 | 276 | 266 | 234 | 194 | 157 | 123 | 97 | 84 | 94 | 122 | 149 | 192 | 232 | 254 |
| 13 „ . . | 251 | 232 | 209 | 186 | 164 | 149 | 150 | 171 | 196 | 241 | 272 | 271 | 252 | 217 | 182 | 143 | 115 | 91 | 94 | 120 | 146 | 198 | 250 | 287 |
| 14 „ . . | 275 | 255 | 245 | 208 | 167 | 126 | 111 | 136 | 157 | 196 | 240 | 261 | 257 | 223 | 205 | 179 | 140 | 110 | 100 | 123 | 145 | 188 | 238 | 277 |
| 15 „ . . | 276 | 256 | 233 | 207 | 174 | 145 | 110 | 101 | 119 | 145 | 190 | 232 | 250 | 232 | 208 | 189 | 173 | 157 | 140 | 140 | 170 | 197 | 254 | 291 |
| 16 „ . . | 293 | 271 | 253 | 225 | 184 | 145 | 104 | 84 | 101 | 122 | 149 | 187 | 230 | 221 | 211 | 191 | 175 | 152 | 150 | 175 | 181 | 203 | 239 | 268 |
| 17 „ . . | 295 | 282 | 261 | 243 | 229 | 210 | 183 | 108 | 103 | 119 | 130 | 159 | 188 | 210 | 201 | 195 | 195 | 175 | 162 | 165 | 185 | 200 | 221 | 245 |
| 18 „ . . | 275 | 305 | 289 | 260 | 222 | 180 | 145 | 119 | 98 | 94 | 129 | 156 | 185 | 203 | 200 | 192 | 185 | 180 | 178 | 182 | 193 | 204 | 225 | 254 |
| 19 „ . . | 280 | 299 | 282 | 244 | 221 | 198 | 154 | 124 | 117 | 105 | 105 | 125 | 136 | 145 | 175 | 187 | 191 | 178 | 179 | 193 | 211 | 223 | 236 | 250 |
| 20 „ . . | 264 | 280 | 276 | 270 | 246 | 222 | 193 | 165 | 130 | 119 | 106 | 120 | 131 | 139 | 150 | 165 | 174 | 165 | 173 | 186 | 197 | 214 | 228 | 240 |
| 21 „ . . | 251 | 261 | 257 | 248 | 243 | 224 | 194 | 190 | 166 | 144 | 124 | 116 | 116 | 137 | 141 | 142 | 150 | 170 | 186 | 183 | 192 | 219 | 240 | 252 |
| 22 „ . . | 255 | 247 | 238 | 235 | 233 | 220 | 212 | 194 | 181 | 162 | 144 | 125 | 114 | 107 | 105 | 111 | 120 | 141 | 165 | 181 | 184 | 205 | 218 | 230 |
| 23 „ . . | 234 | 232 | 226 | 219 | 210 | 202 | 207 | 200 | 190 | 180 | 161 | 141 | 127 | 110 | 93 | 95 | 111 | 134 | 155 | 184 | 203 | 203 | 219 | 241 |
| 24 „ . . | 247 | 223 | 215 | 209 | 204 | 205 | 203 | 200 | 198 | 186 | 171 | 154 | 136 | 113 | 91 | 86 | 100 | 120 | 141 | 171 | 203 | 216 | 224 | 234 |
| 25 „ . . | 234 | 224 | 216 | 201 | 182 | 170 | 193 | 205 | 215 | 220 | 206 | 192 | 174 | 146 | 121 | 106 | 93 | 160 | 136 | 175 | 210 | 225 | 233 | 230 |
| 26 „ . . | 215 | 200 | 190 | 182 | 174 | 171 | 190 | 201 | 214 | 229 | 233 | 210 | 184 | 159 | 130 | 106 | 96 | 107 | 130 | 152 | 180 | 214 | 234 | 239 |
| 27 „ . . | 226 | 218 | 204 | 194 | 176 | 161 | 159 | 180 | 197 | 220 | 240 | 226 | 199 | 166 | 142 | 124 | 100 | 109 | 119 | 150 | 190 | 230 | 250 | 254 |
| 28 „ . . | 255 | 220 | 204 | 180 | 161 | 146 | 130 | 143 | 172 | 207 | 230 | 243 | 226 | 196 | 167 | 143 | 119 | 130 | 149 | 178 | 210 | 250 | 276 | 278 |
| 29 „ . . | 266 | 244 | 216 | 185 | 160 | 140 | 129 | 142 | 170 | 195 | 220 | 250 | 250 | 221 | 200 | 164 | 132 | 111 | 125 | 151 | 185 | 230 | 274 | 294 |
| 30 „ . . | 290 | 265 | 231 | 206 | 172 | 138 | 112 | 120 | 137 | 190 | 203 | 235 | 239 | 225 | 213 | 186 | 160 | 131 | 139 | 160 | 190 | 232 | 277 | 294 |
| 31 „ . . | 300 | 276 | 250 | 210 | 186 | 158 | 110 | 91 | 102 | 124 | 160 | 200 | 226 | 225 | 213 | 195 | 180 | 168 | 154 | 160 | 190 | 220 | 275 | 335 |
| 1 Nov. . . | 337 | 304 | 266 | 237 | 210 | 182 | 125 | 99 | 91 | 103 | 128 | 150 | 170 | 204 | 214 | 207 | 192 | 171 | 157 | 162 | 182 | 216 | 260 | 303 |
| 2 „ . . | 330 | 334 | 280 | 240 | 206 | 170 | 134 | 101 | 76 | 85 | 100 | 115 | 129 | 177 | 195 | 196 | 180 | 168 | 160 | 190 | 206 | 226 | 250 | 290 |
| 3 „ . . | 319 | 316 | 300 | 262 | 222 | 182 | 178 | 130 | 81 | 90 | 102 | 114 | 122 | 136 | 160 | 180 | 188 | 170 | 155 | 170 | 193 | 224 | 250 | 272 |
| 4 . . . | 290 | 309 | 301 | 268 | 243 | 216 | 180 | 152 | 120 | 106 | 96 | 96 | 103 | 105 | 111 | 124 | 143 | 160 | 180 | 191 | 195 | 220 | 240 | 256 |
| 5 „ . . | 270 | 280 | 295 | 311 | 306 | 262 | 226 | 205 | 182 | 137 | 111 | 97 | 87 | 86 | 98 | 110 | 140 | 163 | 180 | 197 | 210 | 220 | 228 | 236 |
| 6 „ . . | 244 | 252 | 260 | 267 | 270 | 257 | 239 | 217 | 190 | 160 | 142 | 136 | 122 | 99 | 87 | 89 | 106 | 150 | 178 | 199 | 215 | 227 | 234 | 236 |
| 7 „ . . | 238 | 238 | 240 | 249 | 246 | 239 | 228 | 216 | 204 | 190 | 170 | 150 | 131 | 110 | 90 | 86 | 110 | 141 | 171 | 200 | 232 | 250 | 245 | 235 |

## SCHEMA II *(Gebruik tafel 1)*

**Lange serie** (29 etmalen) — **Soerabaja** (Madoerakade)

| Datum | $X_1$ | | $Y_1$ | | $X_2$ | | $Y_2$ | | $X_4$ | | $Y_4$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | + | — | + | — | + | — | + | — | + | — | + | — |
| 10 Oct. . . . | 2003 | 2369 | 1700 | 2672 | 2411 | 1961 | 1913 | 2459 | 1455 | 1474 | 2192 | 2180 |
| 11 „ . . . | 2117 | 2183 | 1672 | 2628 | 2474 | 1826 | 1921 | 2379 | 1450 | 1423 | 2161 | 2139 |
| 12 „ . . . | 2300 | 2204 | 1932 | 2572 | 2729 | 1775 | 2050 | 2454 | 1503 | 1499 | 2217 | 2287 |
| 13 „ . . . | 2301 | 2286 | 2095 | 2492 | 2862 | 1725 | 2191 | 2396 | 1545 | 1501 | 2220 | 2367 |
| 14 „ . . . | 2215 | 2347 | 2185 | 2377 | 2860 | 1702 | 2390 | 2172 | 1517 | 1523 | 2232 | 2330 |
| 15 „ . . . | 2106 | 2483 | 2401 | 2188 | 2764 | 1825 | 2500 | 2089 | 1601 | 1468 | 2235 | 2354 |
| 16 „ . . . | 1927 | 2587 | 2396 | 2118 | 2647 | 1867 | 2551 | 1963 | 1529 | 1487 | 2274 | 2240 |
| 17 „ . . . | 1966 | 2698 | 2342 | 2322 | 2511 | 2153 | 2684 | 1980 | 1617 | 1507 | 2343 | 2321 |
| 18 „ . . . | 1886 | 2767 | 2381 | 2272 | 2519 | 2134 | 2676 | 1977 | 1553 | 1530 | 2372 | 2281 |
| 19 „ . . . | 1742 | 2816 | 2304 | 2254 | 2361 | 2197 | 2536 | 2022 | 1500 | 1544 | 2295 | 2263 |
| 20 „ . . . | 1757 | 2796 | 2162 | 2391 | 2267 | 2286 | 2482 | 2071 | 1508 | 1521 | 2284 | 2269 |
| 21 „ . . . | 1790 | 2756 | 2128 | 2418 | 2258 | 2288 | 2340 | 2206 | 1509 | 1509 | 2274 | 2272 |
| 22 „ . . . | 1716 | 2611 | 1881 | 2446 | 2150 | 2177 | 2126 | 2201 | 1462 | 1421 | 2183 | 2144 |
| 23 „ . . . | 1749 | 2528 | 1875 | 2402 | 2167 | 2110 | 1993 | 2284 | 1441 | 1409 | 2161 | 2116 |
| 24 „ . . . | 1758 | 2492 | 1835 | 2415 | 2210 | 2040 | 1949 | 2301 | 1440 | 1404 | 2141 | 2109 |
| 25 „ . . . | 1971 | 2436 | 1949 | 2458 | 2421 | 1986 | 1967 | 2440 | 1429 | 1514 | 2249 | 2158 |
| 26 „ . . . | 2059 | 2281 | 1931 | 2409 | 2437 | 1903 | 1914 | 2426 | 1446 | 1445 | 2145 | 2195 |
| 27 „ . . . | 2062 | 2372 | 2033 | 2401 | 2575 | 1859 | 2019 | 2415 | 1453 | 1501 | 2150 | 2284 |
| 28 „ . . . | 2106 | 2522 | 2331 | 2297 | 2758 | 1870 | 2153 | 2475 | 1557 | 1542 | 2265 | 2363 |
| 29 „ . . . | 2184 | 2470 | 2337 | 2317 | 2860 | 1794 | 2289 | 2365 | 1565 | 1545 | 2299 | 2355 |
| 30 „ . . . | 2151 | 2594 | 2446 | 2299 | 2894 | 1851 | 2456 | 2289 | 1578 | 1585 | 2321 | 2424 |
| 31 „ . . . | 1994 | 2714 | 2541 | 2167 | 2804 | 1904 | 2587 | 2021 | 1651 | 1504 | 2297 | 2411 |
| 1 Nov.. . . | 1860 | 2816 | 2444 | 2232 | 2661 | 2015 | 2700 | 1976 | 1601 | 1516 | 2317 | 2359 |
| 2 „ . . . | 1656 | 2882 | 2367 | 2171 | 2511 | 2027 | 2605 | 1933 | 1496 | 1504 | 2312 | 2226 |
| 3 „ . . . | 1651 | 2865 | 2220 | 2296 | 2405 | 2111 | 2557 | 1959 | 1512 | 1490 | 2260 | 2256 |
| 4 „ . . . | 1496 | 2909 | 2028 | 2377 | 2233 | 2172 | 2373 | 2032 | 1481 | 1460 | 2237 | 2168 |
| 5 „ . . . | 1642 | 2995 | 1955 | 2682 | 2145 | 2492 | 2408 | 2229 | 1521 | 1563 | 2316 | 2321 |
| 6 „ . . . | 1737 | 2839 | 1942 | 2634 | 2199 | 2377 | 2203 | 2373 | 1562 | 1495 | 2302 | 2274 |
| 7 „ . . . | 1826 | 2783 | 2001 | 2608 | 2287 | 2322 | 2118 | 2491 | 1533 | 1541 | 2298 | 2311 |

## SCHEMA III X en Y met vaste bedragen

| $X_0$ | $X_1$ | $Y_1$ | $X_2$ | $Y_2$ | $X_4$ | $Y_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| + 0 | + 2000 | + 1000 | + 1000 | + 1000 | + 1000 | + 1000 |
| 4372 | 1634 | 28 | 1450 | 454 | 981 | 1012 |
| 4300 | 1934 | 44 | 1648 | 542 | 973 | 1022 |
| 4504 | 2096 | 360 | 1954 | 596 | 1004 | 930 |
| 4587 | 2015 | 603 | 2137 | 795 | 1044 | 853 |
| 4562 | 1868 | 808 | 2158 | 1218 | 994 | 902 |
| 4589 | 1623 | 1213 | 1939 | 1411 | 1133 | 881 |
| 4514 | 1340 | 1278 | 1780 | 1588 | 1042 | 1034 |
| 4664 | 1268 | 1020 | 1358 | 1704 | 1110 | 1022 |
| 4653 | 1119 | 1109 | 1385 | 1699 | 1023 | 1091 |
| 4558 | 926 | 1050 | 1164 | 1514 | 956 | 1032 |
| 4553 | 961 | 771 | 981 | 1411 | 987 | 1015 |
| 4546 | 1034 | 710 | 970 | 1134 | 1000 | 1002 |
| 4327 | 1105 | 435 | 973 | 925 | 1041 | 1039 |
| 4277 | 1221 | 473 | 1057 | 709 | 1032 | 1061 |
| 4250 | 1266 | 420 | 1170 | 648 | 1036 | 1032 |
| 4407 | 1535 | 491 | 1435 | 527 | 915 | 1091 |
| 4340 | 1778 | 522 | 1534 | 488 | 1001 | 950 |
| 4434 | 1690 | 632 | 1716 | 604 | 952 | 866 |
| 4628 | 1584 | 1034 | 1888 | 678 | 1015 | 902 |
| 4654 | 1714 | 1020 | 2066 | 924 | 1020 | 944 |
| 4745 | 1557 | 1147 | 2043 | 1167 | 993 | 897 |
| 4708 | 1280 | 1374 | 1900 | 1566 | 1147 | 886 |
| 4676 | 1044 | 1212 | 1646 | 1724 | 1085 | 958 |
| 4538 | 774 | 1196 | 1484 | 1672 | 992 | 1086 |
| 4516 | 780 | 924 | 1294 | 1598 | 1022 | 1004 |
| 4405 | 587 | 651 | 1061 | 1341 | 1021 | 1069 |
| 4637 | 647 | 273 | 653 | 1179 | 958 | 995 |
| 4576 | 898 | 308 | 822 | 830 | 1067 | 1028 |
| 4609 | 1043 | 393 | 965 | 627 | 992 | 987 |

## SCHEMA IV *(Gebruik tafel 2)*

| Index | Teken | X (Bijdragen) | Y (Bijdragen) | X | Y |
|---|---|---|---|---|---|
| 00 | + | 131129 | | 131129 | |
| 10 | + | 38327 | 21499 | | |
| | — | 58000 | 29000 | — 19673 | — 7501 |
| 12 | + | 20483 | 6343 | 639 | |
| | — | 17844 | 15156 | | — 9813 |
| | — | 2000 | 1000 | | |
| 1*b* | + | 11102 | 9112 | | |
| | — | 20734 | 9152 | — 9632 | — 40 |
| 13 | + | 19685 | 10859 | | |
| | — | 18642 | 10640 | — 957 | — 781 |
| | — | 2000 | 1000 | | |
| 1*c* | + | 20237 | 10181 | 3413 | |
| | — | 16824 | 10898 | | — 717 |
| 20 | + | 42631 | 31273 | 13631 | 2273 |
| | — | 29000 | 29000 | | |
| 22 | + | 19545 | 11399 | | |
| | — | 23086 | 19874 | — 4541 | — 9475 |
| | — | 1000 | 1000 | | |
| 2*b* | + | 13490 | 15736 | | 5198 |
| | — | 22298 | 10538 | — 8808 | |
| 23 | + | 22275 | 16419 | 919 | 565 |
| | — | 20356 | 14854 | | |
| | — | 1000 | 1000 | | |
| 2*c* | + | 22467 | 14837 | 3473 | |
| | — | 18994 | 15788 | | — 951 |
| 42 | + | 15017 | 14937 | | 283 |
| | — | 14519 | 13654 | — 502 | |
| | — | 1000 | 1000 | | |
| 4*b* | + | 12184 | 12380 | 98 | 1108 |
| | — | 12086 | 11272 | | |
| 44 | + | 15521 | 15088 | 506 | 585 |
| | — | 14015 | 13503 | | |
| | — | 1000 | 1000 | | |
| 4*d* | + | 12316 | 11754 | 362 | |
| | — | 11954 | 11898 | | — 144 |

*Lange serie 29 etmalen*

**Plaats: Soerabaja (Madoerakade) 7° 11',7 Zb, 112° 44',5 Ol.** Middelste datum: 24 Oct. 1947 Standaardtijd: M.T.G. + 8 h

| | | $S_0$ | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $M_4$ | $MS_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Schema V | $X_{00}$ = 131129 | 131129 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Gebruik | $X_{10}$ = — 19673 | ... | ... | ... | ... | — 19673 | 1574 | ... | ... |
| Tafel 3*a* | $X_{12} - Y_{1b}$ = 679 | ... | 48 | ... | ... | — 14 | 679 | ... | 14 |
| | $X_{13} - Y_{1c}$ = — 240 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | $X_{20}$ = 13631 | ... | — 409 | 13631 | — 409 | ... | ... | ... | ... |
| | $X_{22} - Y_{2b}$ = — 9739 | ... | — 9739 | — 146 | — 370 | — 19 | 565 | ... | 341 |
| | $X_{23} - Y_{2c}$ = 1870 | ... | — 112 | ... | 1870 | ... | ... | ... | ... |
| | $X_{42} - Y_{4b}$ = — 1610 | ... | — 48 | ... | ... | ... | ... | ... | — 1610 |
| | $X_{44} - Y_{4d}$ = 650 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 650 | 52 |
| Schema VI | $Y_{10}$ = — 7501 | ... | ... | ... | ... | — 7501 | 600 | ... | ... |
| Gebruik | $Y_{12} + X_{1b}$ = — 19445 | ... | — 1361 | ... | ... | 389 | — 19445 | ... | — 583 |
| Tafel 3*a* | $Y_{13} + X_{1c}$ = 2632 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | $Y_{20}$ = 2273 | ... | — 68 | 2273 | — 68 | ... | ... | ... | ... |
| | $Y_{22} + X_{2b}$ = — 18283 | ... | — 18283 | — 274 | — 585 | ... | 1042 | ... | 640 |
| | $Y_{23} + X_{2c}$ = 4038 | ... | — 242 | ... | 4038 | ... | ... | ... | ... |
| | $Y_{42} + X_{4b}$ = 381 | ... | 11 | ... | ... | ... | ... | 4 | 381 |
| | $Y_{44} + X_{4d}$ = 947 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 947 | 76 |
| | | $S_0$ | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $M_4$ | $MS_4$ |
| Schema VII | V: PR cos *r* | 131129 | — 10260 | 13485 | 1091 | — 10706 | 2818 | 650 | — 1203 |
| | VI: PR sin *r* | ... | — 19943 | 1099 | 3385 | — 7112 | — 17803 | 951 | 514 |
| | PR | 131129 | 22427 | 13632 | 3556 | 20950 | 18025 | 1152 | 1308 |
| | Tafel 3*a* : P | 696 | 559 | 448 | 566 | 439 | 565 | 507 | 535 |
| | „ 5 : *f* | ... | 0,979 | 1,000 | 0,979 | 1,075 | 1,121 | 0,958 | 0,979 |
| | VIII : 1 + W | ... | 1,000 | 1,256 | 0,817 | 0,873 | 1,000 | 1,000 | 1,256 |
| | Tafel 6 : *V'* | ... | 153,5 | ... | 217,2 | 9,8 | 143,7 | ... | ... |
| | „ 7 : *V''* | ... | 183,9 | ... | 217,1 | 269,1 | 274,8 | ... | ... |
| | „ 8 : *V'''* | ... | 159,2 | ... | 218,7 | 22,7 | 136,6 | ... | ... |
| | *V'* + *V''* + *V'''* = *V* | ... | 496,6 | 000 | 653,0 | 301,6 | 555,1 | 993,2 | 496,6 |
| | Tafel 9 : *u* | ... | — 1,8 | 000 | — 1,8 | — 6,5 | 7,6 | — 3,6 | — 1,8 |
| | VIII : *w* | ... | 000 | 14,8 | — 0,8 | 17,2 | 000 | 000 | 14,8 |
| | Tafel 3*a* : *p* | ... | 333 | 345 | 327 | 173 | 160 | 307 | 318 |
| | „ 4 : *r* | ... | 243 | 8 | 72 | 200 | 279 | 56 | 157 |
| | Som = *g* | ... | 1071 | 368 | 1049,4 | 685,3 | 1002 | 1353 | 985 |
| | Veelvoud van 360° | ... | 720 | 360 | 720 | 360 | 720 | 1080 | 720 |

**Schema VIII**

*w en* (1 + W) *voor* $S_2$, $MS_4$
VII : $K_1$ : *V* = 301,6
VII : $K_1$ : *u* = — 6,5
Som : *V* + *u* = 295,1
Tafel 10 : $S_2$ : *w/f* = 12,5
Tafel 10 : $S_2$ : W/*f* = 0,216
Tafel 5 : $K_2$ : *f* = 1,187
*w* = 14,8
W = 0,256
1 + W = 1,256

*w en* (1 + W) *voor* $K_1$
VII : $K_1$ : 2 *V* = 603,2
VII : $K_1$ : *u* = — 6,5
Som : 2*V* + *u* = 596,7
Tafel 10 : $K_1$ : *wf* = 18,5
Tafel 10 : $K_1$ : W*f* = — 0,136
Tafel 5 : $K_1$ : *f* = 1,075
*w* = 17,2
W = — 0,127
1 + W = 0,873

*w en* (1 + W) *voor* $N_2$
VII : $M_2$ : 3 *V* = 1489,8
VII : $N_2$ : 2 *V* = 1306,0
verschil ($M_2 - N_2$) = 183,8
Tafel 10 : $N_2$ : *w* = — 0,8
Tafel 10 : $N_2$ : 1 + W = 0,817

$M_2$, $O_1$, $M_4$ : W = 0; *w* = 0
$S_2$ : *f* = 1; *V*, *u* = 0
$N_2$, $MS_4$ : *f*, *u* als $M_2$
$M_4$ : *f* = $(f\,M_2)^2$
*V* = (*V* $M_2$) × 2
*u* = (*u* $M_2$) × 2
$MS_4$ : *V* = *V* $M_2$
$K_2$ : A = A $S_2$ × 0,27
*g* = *g* van $S_2$
$P_1$ : A = A $K_1$ × 0,33
*g* = *g* van $K_1$

| | $S_0$ | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $M_4$ | $MS_4$ | $K_2$ | $P_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A cm | 188 | 41 | 24 | 8 | 51 | 28 | 2 | 2 | 6 | 17 |
| *g* ° | ... | 351° | 8° | 329° | 325° | 282° | 273° | 265° | 8° | 325° |

*Getijanalyse volgens Admiralty methode uit een korte serie (15 etmalen)*

Plaats:

Soerabaja (Modoerakade) 7° 11',7 Sb, 112° 44',5 El. Middelste datum: 24 Oct. 1947 Standaardtijd: M.T.G. + 8 h

SCHEMA I

| Datum \ Uur | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 Oct. . . | 295 | 282 | 201 | 243 | 229 | 210 | 183 | 108 | 103 | 119 | 130 | 159 | 188 | 210 | 201 | 195 | 195 | 175 | 162 | 165 | 185 | 200 | 221 | 245 |
| 18 „ . . | 275 | 305 | 289 | 260 | 222 | 180 | 145 | 119 | 98 | 94 | 129 | 156 | 185 | 203 | 200 | 192 | 185 | 180 | 178 | 182 | 193 | 204 | 225 | 254 |
| 19 „ . . | 280 | 299 | 282 | 244 | 221 | 198 | 154 | 124 | 117 | 105 | 105 | 125 | 136 | 145 | 175 | 197 | 191 | 178 | 179 | 193 | 211 | 223 | 236 | 250 |
| 20 „ . . | 264 | 280 | 276 | 270 | 246 | 222 | 193 | 165 | 130 | 119 | 106 | 120 | 131 | 139 | 150 | 165 | 174 | 165 | 173 | 186 | 197 | 214 | 228 | 240 |
| 21 „ . . | 251 | 261 | 257 | 248 | 243 | 224 | 194 | 190 | 166 | 144 | 124 | 116 | 116 | 137 | 141 | 142 | 150 | 170 | 186 | 183 | 192 | 219 | 240 | 252 |
| 22 „ . . | 255 | 247 | 238 | 235 | 233 | 220 | 212 | 194 | 181 | 162 | 144 | 125 | 114 | 107 | 105 | 111 | 120 | 141 | 165 | 181 | 184 | 205 | 218 | 230 |
| 23 „ . . | 234 | 232 | 226 | 219 | 210 | 202 | 207 | 200 | 190 | 180 | 161 | 141 | 127 | 110 | 93 | 95 | 111 | 134 | 155 | 184 | 203 | 203 | 219 | 241 |
| 24 „ . . | 247 | 223 | 215 | 209 | 204 | 205 | 203 | 200 | 198 | 186 | 171 | 154 | 136 | 113 | 91 | 86 | 100 | 120 | 141 | 171 | 203 | 216 | 224 | 234 |
| 25 „ . . | 234 | 224 | 216 | 201 | 182 | 170 | 193 | 205 | 215 | 220 | 206 | 192 | 174 | 146 | 121 | 106 | 93 | 100 | 136 | 175 | 210 | 225 | 233 | 230 |
| 26 „ . . | 215 | 200 | 190 | 182 | 174 | 171 | 190 | 201 | 214 | 229 | 233 | 210 | 184 | 159 | 130 | 106 | 96 | 107 | 130 | 152 | 180 | 214 | 234 | 239 |
| 27 „ . . | 226 | 218 | 204 | 194 | 176 | 161 | 159 | 180 | 197 | 220 | 240 | 226 | 199 | 166 | 142 | 124 | 100 | 109 | 119 | 150 | 190 | 230 | 250 | 254 |
| 28 „ . . | 255 | 226 | 204 | 180 | 161 | 146 | 130 | 143 | 172 | 207 | 230 | 243 | 226 | 196 | 167 | 143 | 119 | 130 | 149 | 178 | 219 | 250 | 276 | 278 |
| 29 „ . . | 266 | 244 | 216 | 185 | 160 | 140 | 129 | 142 | 170 | 195 | 220 | 250 | 250 | 221 | 200 | 164 | 132 | 111 | 125 | 151 | 185 | 230 | 274 | 294 |
| 30 „ . . | 290 | 265 | 231 | 206 | 172 | 138 | 112 | 120 | 137 | 190 | 203 | 235 | 239 | 225 | 213 | 186 | 160 | 131 | 139 | 160 | 190 | 232 | 277 | 294 |
| 31 „ . . | 300 | 276 | 250 | 210 | 186 | 158 | 110 | 91 | 102 | 124 | 160 | 200 | 226 | 225 | 213 | 195 | 180 | 168 | 154 | 160 | 190 | 220 | 275 | 335 |

## SCHEMA II *(Gebruik tafel 1)*

Korte serie (15 etmalen) Soorabaja (Madoerakade)

| Datum | $X_1$ | | $Y_1$ | | $X_2$ | | $Y_2$ | | $X_4$ | | $Y_4$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | + | — | + | — | + | — | + | — | + | — | + | — |
| 17 Oct. . . . | 1966 | 2698 | 2342 | 2322 | 2511 | 2153 | 2684 | 1980 | 1617 | 1507 | 2343 | 2321 |
| 18 „ . . . | 1886 | 2767 | 2381 | 2272 | 2519 | 2134 | 2676 | 1977 | 1553 | 1530 | 2372 | 2281 |
| 19 „ . . . | 1742 | 2816 | 2304 | 2254 | 2361 | 2197 | 2536 | 2022 | 1500 | 1544 | 2295 | 2263 |
| 20 „ . . . | 1757 | 2796 | 2162 | 2391 | 2267 | 2286 | 2482 | 2071 | 1508 | 1521 | 2284 | 2269 |
| 21 „ . . . | 1790 | 2756 | 2128 | 2418 | 2258 | 2288 | 2340 | 2206 | 1509 | 1509 | 2274 | 2272 |
| 22 „ . . . | 1716 | 2611 | 1881 | 2446 | 2150 | 2177 | 2126 | 2201 | 1462 | 1421 | 2183 | 2144 |
| 23 „ . . . | 1749 | 2528 | 1875 | 2402 | 2167 | 2110 | 1993 | 2284 | 1441 | 1409 | 2161 | 2116 |
| 24 „ . . . | 1758 | 2492 | 1835 | 2415 | 2210 | 2040 | 1949 | 2301 | 1440 | 1404 | 2141 | 2109 |
| 25 „ . . . | 1971 | 2436 | 1949 | 2458 | 2421 | 1986 | 1967 | 2440 | 1429 | 1514 | 2249 | 2158 |
| 26 „ . . . | 2059 | 2281 | 1931 | 2409 | 2437 | 1903 | 1914 | 2426 | 1446 | 1445 | 2145 | 2195 |
| 27 „ . . . | 2062 | 2372 | 2033 | 2401 | 2575 | 1859 | 2019 | 2415 | 1453 | 1501 | 2150 | 2284 |
| 28 „ . . . | 2106 | 2522 | 2331 | 2297 | 2758 | 1870 | 2153 | 2475 | 1557 | 1542 | 2265 | 2363 |
| 29 „ . . . | 2184 | 2470 | 2337 | 2317 | 2860 | 1794 | 2289 | 2365 | 1565 | 1545 | 2299 | 2355 |
| 30 „ . . . | 2151 | 2594 | 2446 | 2299 | 2894 | 1851 | 2456 | 2289 | 1578 | 1585 | 2321 | 2424 |
| 31 „ . . . | 1994 | 2714 | 2541 | 2167 | 2804 | 1904 | 2587 | 2021 | 1651 | 1504 | 2297 | 2411 |

SCHEMA III X en Y met vaste bedragen

| $X_0$ | $X_1$ | $Y_1$ | $X_2$ | $Y_2$ | $X_4$ | $Y_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| + 0 | +2000 | +1000 | +1000 | +1000 | +1000 | +1000 |
| 4664 | 1268 | 1020 | 1358 | 1704 | 1110 | 1022 |
| 4653 | 1119 | 1109 | 1385 | 1699 | 1023 | 1091 |
| 4558 | 926 | 1050 | 1164 | 1514 | 956 | 1032 |
| 4553 | 961 | 771 | 981 | 1411 | 987 | 1015 |
| 4546 | 1034 | 710 | 970 | 1134 | 1000 | 1002 |
| 4327 | 1105 | 435 | 973 | 925 | 1041 | 1039 |
| 4277 | 1221 | 473 | 1057 | 709 | 1032 | 1061 |
| 4250 | 1266 | 420 | 1170 | 648 | 1036 | 1032 |
| 4407 | 1535 | 491 | 1435 | 527 | 915 | 1091 |
| 4340 | 1778 | 522 | 1534 | 488 | 1001 | 950 |
| 4434 | 1690 | 632 | 1716 | 604 | 952 | 866 |
| 4628 | 1584 | 1034 | 1888 | 678 | 1015 | 902 |
| 4654 | 1714 | 1020 | 2066 | 924 | 1020 | 944 |
| 4745 | 1557 | 1147 | 2043 | 1167 | 993 | 897 |
| 4708 | 1280 | 1374 | 1900 | 1566 | 1147 | 886 |

SCHEMA IV *(Gebruik tafel 2)*

| Index | Teken | X (Bijdragen) | Y (Bijdragen) | X | Y |
|---|---|---|---|---|---|
| 00 | + | 67744 | | 67744 | |
| 10 | + | 20038 | 12208 | | |
| | — | 30000 | 15000 | — 9962 | — 2792 |
| 12 | + | 9629 | 3683 | 1220 | |
| | — | 10409 | 8525 | | — 3842 |
| | + | 2000 | 1000 | | |
| 1*b* | + | 6366 | 4548 | | |
| | — | 9858 | 4840 | — 3492 | — 298 |
| 13 | + | 6905 | 2341 | 3772 | |
| | — | 13133 | 9867 | | — 2526 |
| | + | 10000 | 5000 | | |
| 1*c* | + | 8872 | 5930 | | 72 |
| | — | 9900 | 5858 | — 1028 | |
| 20 | + | 21640 | 15698 | 6640 | 698 |
| | — | 15000 | 15000 | | |
| 22 | + | 8855 | 5035 | | |
| | — | 12785 | 10663 | — 2930 | — 4628 |
| | + | 1000 | 1000 | | |
| 2*b* | + | 6530 | 7392 | | 3004 |
| | — | 10682 | 4388 | — 4152 | |
| 23 | + | 6169 | 3297 | | |
| | — | 15471 | 12401 | — 4302 | — 4104 |
| | + | 5000 | 5000 | | |
| 2*c* | + | 9990 | 7836 | | 622 |
| | — | 10480 | 7214 | — 490 | |
| 42 | + | 6977 | 7041 | | 252 |
| | — | 8251 | 7789 | — 274 | |
| | + | 1000 | 1000 | | |
| 4*b* | + | 6039 | 6240 | 143 | 590 |
| | — | 5896 | 5650 | | |
| 44 | + | 7256 | 7080 | 284 | 330 |
| | — | 7972 | 7750 | | |
| | + | 1000 | 1000 | | |
| 4*d* | + | 6101 | 5845 | 267 | |
| | — | 5834 | 6045 | | — 200 |

Plaats: Soerabaja (Madoerakade) 7° 11',7 Zb, 112° 44',5 El. Middelste datum: 24 Oct. 1947 Standaardtijd: M.T.G. + 8 h

| | | | $S_0$ | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $M_4$ | $MS_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Schema V Gebruik Tafel 3b | $X_{00}$ = | 67744 | 67744 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | $X_{10}$ = | — 9962 | — 100 | 100 | — 100 | — 299 | — 9962 | 697 | — 100 | ... |
| | $X_{12} — Y_{1b}$ = | 1518 | — 30 | 137 | — 15 | — 137 | — 137 | 1518 | — 30 | 30 |
| | $X_{13} — Y_{1c}$ = | 3700 | 148 | — 259 | 37 | 481 | 740 | — 2183 | 111 | ... |
| | $X_{20}$ = | 6640 | — 66 | — 996 | 6640 | 1926 | 66 | ... | — 133 | ... |
| | $X_{22} — Y_{2b}$ = | — 5934 | — 59 | — 5934 | 831 | 3620 | 119 | 178 | — 178 | 178 |
| | $X_{23} — Y_{2c}$ = | — 4924 | 98 | 3201 | — 1231 | — 4924 | — 148 | ... | 246 | 49 |
| | $X_{42} — Y_{4b}$ = | — 864 | ... | — 9 | ... | — 9 | ... | ... | — 86 | — 864 |
| | $X_{44} — Y_{4d}$ = | 484 | ... | — 5 | 5 | 10 | ... | ... | 489 | — 24 |
| Schema VI Gebruik Tafel 3b | $Y_{10}$ = | — 2792 | ... | ... | 28 | — 56 | — 2820 | 223 | — 28 | — 28 |
| | $Y_{12} + X_{1b}$ = | — 7334 | ... | — 367 | — 73 | 367 | 880 | — 7701 | 220 | — 73 |
| | $Y_{13} + X_{1c}$ = | — 3554 | ... | 71 | 71 | — 320 | — 853 | 2310 | — 142 | — 71 |
| | $Y_{20}$ = | 698 | ... | — 112 | 698 | 209 | — 7 | 14 | — 21 | — 7 |
| | $Y_{22} + X_{2b}$ = | — 8780 | ... | — 9131 | 1317 | 5619 | — 170 | 878 | — 251 | 176 |
| | $Y_{23} + X_{2c}$ = | — 4594 | ... | 3216 | — 1194 | — 4732 | 138 | — 413 | 322 | 138 |
| | $Y_{42} + X_{4b}$ = | 395 | ... | 8 | ... | ... | ... | ... | 43 | 395 |
| | $Y_{44} + X_{4d}$ = | 597 | ... | — 18 | 6 | 30 | ... | ... | 597 | — 36 |

| | | $S_0$ | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $M_4$ | $MS_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Schema VII | V: PR cos $r$ | 67735 | — 3765 | 6167 | 668 | — 9322 | 210 | 319 | — 631 |
| | VI: PR sin $r$ | ... | — 6333 | 853 | 1117 | — 2838 | — 4689 | 640 | 494 |
| | PR | 67735 | 7368 | 6226 | 1302 | 9744 | 4694 | 715 | 801 |
| | Tafel 3b : P | 360 | 175 | 214 | 166 | 217 | 177 | 273 | 280 |
| | „ 5 : $f$ | ... | 0.979 | 1.000 | 0.979 | 1.075 | 1.121 | 0.958 | 0.979 |
| | VIII : 1 + W | ... | 1.000 | 1.256 | 0.817 | 0.873 | 1.000 | 1.000 | 1.256 |
| | Tafel 6 : $V'$ | ... | 153.5 | ... | 217.2 | 9.8 | 143.7 | ... | ... |
| | „ 7 : $V''$ | ... | 183.9 | ... | 217.1 | 269.1 | 274.8 | ... | ... |
| | „ 8 : $V'''$ | ... | 159.2 | ... | 218.7 | 22.7 | 136.6 | ... | ... |
| | $V' + V'' + V''' = V$ | ... | 496.6 | 000 | 653.0 | 301.6 | 555.1 | 993.2 | 496.6 |
| | Tafel 9 : $u$ | ... | — 1.8 | 000 | — 1.8 | — 6.5 | 7.6 | — 3.6 | — 1.8 |
| | VIII : $w$ | ... | 0.0 | 14.8 | — 0.8 | 17.2 | 0.0 | 0.0 | 14.8 |
| | Tafel 3b : $p$ | ... | 333 | 345 | 327 | 173 | 160 | 307 | 318 |
| | „ 4 : $r$ | ... | 239 | 8 | 59 | 197 | 273 | 64 | 142 |
| | Som = $g$ | ... | 1067 | 368 | 1036 | 682 | 996 | 1361 | 970 |
| | Veelvoud van 360° | ... | 720 | 360 | 720 | 360 | 720 | 1080 | 720 |

**Schema VIII**

$w$ en (1 + W) voor $S_2$, $MS_4$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VII | : $K_1$ : | $V$ | = | 301,6 |
| VII | : $K_1$ : | $u$ | = | — 6,5 |
| | Som : | $V + u$ | = | 295,1 |
| Tafel 10 | : $S_2$ : | $w/f$ | = | 12,5 |
| Tafel 10 | : $S_2$ : | $W/f$ | = | 0,216 |
| Tafel 5 | : $K_2$ : | $f$ | = | 1,187 |
| | | $w$ | = | 14,8 |
| | | W | = | 0,256 |
| | | 1 + W | = | 1,256 |

$w$ en (1 + W) voor $K_1$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VII | : $K_1$ : | $2V$ | = | 603,2 |
| VII | : $K_1$ : | $u$ | = | — 6,5 |
| | Som : | $2V + u$ | = | 596,7 |
| Tafel 10 | : $K_1$ : | $wf$ | = | 18,5 |
| Tafel 10 | : $K_1$ : | $Wf$ | = | — 0,136 |
| Tafel 5 | : $K_1$ : | $f$ | = | 1,075 |
| | | $w$ | = | 17,2 |
| | | W | = | — 0,127 |
| | | 1 + W | = | 0,873 |

$w$ en (1 + W) voor $N_2$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VII | : $M_2$ : | $3V$ | = | 1489,8 |
| VII | : $N_2$ : | $2V$ | = | 1306,0 |
| | verschil | ($M_2$ — $N_2$) | = | 183,8 |
| Tafel 10 | : $N_2$ : | $w$ | = | — 0,8 |
| Tafel 10 | : $N_2$ : | 1 + W | = | 0,817 |

$M_2$, $O_1$, $M_4$ : W = 0; $w = 0$
$S_2$ : $f = 1$; $V$, $u = 0$
$N_2$, $MS_4$ : $f$, $u$ als $M_2$
$M_4$ : $f = (f\,M_2)^2$
$V = (V\,M_2) \times 2$
$u = (u\,M_2) \times 2$
$MS_4$ : $V = V\,M_2$
$K_2$ : A = A $S_2$ × 0,27
$g = g$ van $S_2$
$P_1$ : A = A $K_1$ × 0,33
$g = g$ van $K_1$

| | $S_0$ | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $M_4$ | $MS_4$ | $K_2$ | $P_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A cm | 188 | 43 | 23 | 10 | 48 | 24 | 3 | 2 | 6 | 16 |
| $g$ ° | ... | 347 | 8 | 317 | 322 | 276 | 281 | 250 | 8 | 322 |

De uit een lange serie (29 etmalen) en uit een korte serie (15 etmalen) volgens de Admiralty methode benaderde constanten blijken zeer goed overeen te stemmen met de constanten berekend uit een jaarserie, zoals onderstaande staat toont.

| | | $S_2$ | $M_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | $N_2$ | $K_2$ | $M_4$ | $MS_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jaarserie Soerabaja | A | 26 cm | 44 cm | 47 cm | 27 cm | 14 cm | 9 cm | 8 cm | — | — |
| Lange serie „ | A | 24 „ | 41 „ | 51 „ | 28 „ | 17 „ | 8 „ | 6 „ | 2 cm | 2 cm |
| Korte serie „ | A | 23 „ | 43 „ | 48 „ | 24 „ | 16 „ | 10 „ | 6 „ | 3 „ | 2 „ |

| | | $S_2$ | $M_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | $N_2$ | $K_2$ | $M_4$ | $MS_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jaarserie Soerabaja | g | 10° | 357° | 326° | 283° | 327° | 339° | 12° | — | — |
| Lange serie „ | g | 8° | 351° | 325° | 282° | 325° | 329° | 8° | 273° | 265° |
| Korte serie „ | g | 8° | 347° | 322° | 276° | 322° | 317° | 8° | 281° | 250° |

### 10.2 Herleiding van $\varkappa$ tot g

$\varkappa$ = kappagetal = het bedrag in graden, dat de phase van het werkelijke partiële getij achter is op de phase van dat partiële getij volgens de evenwichtstheorie.
$K$ = kappagetal, gecorrigeerd met lengtecorrectie voor $V_0$ en gerekend voor pl. M.T.
g = geo (het aardse argument) = kappagetal, gecorrigeerd met lengtecorrectie voor $V_0$ en gerekend voor standaardtijd.

*Gegeven.*

Tambelan (Toedjoeh eilanden) 1° N, 107°,6 E.
Standaardtijd = 105° E = M.T.G. + $7^u$.
$\varkappa M_2 = 155°$.

*Gevraagd.*

g $M_2$.

*Formule.*

$g = \varkappa + pL - nS$ (zie par. 2.1)

waarin:

g en $\varkappa$ in graden.
L = lengte van de plaats in graden (W + en E —)
S = lengte van de standaardtijd-meridiaan in uren (W + en E —)
p = index betrokken partieel getij; 1 voor enkeldaags getij, 2 voor dubbeldaags getij, enz.
n = hoeksnelheid van het betrokken partieel getij per zonsuur.

*Berekening.*

$g = 155° + 2 \times (-107°.6) - 28°.98 \times (-7).$
$= 155° - 215°.2 + 202°.86 = 143°.$

*Opmerking.*

In de loop der jaren is het kappagetal op verschillende wijzen opgegeven en aangeduid als $\varkappa$, $K$ of g, waarvan de juiste betekenis is aangegeven aan het begin van deze paragraaf.

Teneinde deze waarden met elkaar te kunnen vergelijken, kan voor herleiding van de volgende formules gebruik worden gemaakt:

$$g = \varkappa + pL - nS$$

$$K = \varkappa + pL - n \times \frac{L}{15^\circ}$$

$$g = K + n\left(\frac{L}{15^\circ} - S\right)$$

In nevenstaand voorbeeld is $\varkappa$ herleid tot g.

$K$ wordt uit $\varkappa$ berekend als volgt:

$$K = 155^\circ + 2 \times (-107^\circ{,}6) - 28^\circ{,}98\left(\frac{-107^\circ{,}6}{15^\circ}\right) = 155^\circ - 215^\circ{,}2 + 207^\circ{,}9 = 148^\circ.$$

Herleidt men de hiervoren gevonden g = 143° tot $K$ volgens vorenstaande formule, dan vindt men

$$143^\circ = K + 28^\circ{,}98\left[\frac{-107^\circ{,}6}{15^\circ} - (-7)\right]$$

$$K = 143^\circ + 5^\circ = 148^\circ$$

### 10.3 Uitwerking getijbeschrijving voor de Zeemansgids

*Gegeven.*

Oostkust Sumatra, Koeala Nioer (55 etm.) 1°,0 S , 103°,8 E.

| M.T.G. + | | $S_2$ | $M_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | $N_2$ | $K_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | 19 cm | 78 cm | 67 cm | 48 cm | 17 cm | 12 cm | 9 cm |
| $7^u0^m$ | g | 120° | 82° | 171° | 96° | 171° | 34° | 121° |

*Gevraagd.*

I 1 Getijkarakter.
2 Reductievlak.

II Dubbeldaagse groep.
1 Leeftijd.
2 Gemiddeld verval bij spring- en doodtij (hierbij zijn niet opgenomen de vergroting der gemiddelde vervallen nabij de dag- en nachteveningen (Maart en September) en de verkleining nabij de zonnestilstandpunten (Juni en Dec.)).
3 Tijden van HW en LW bij springtij.
4 Verlating (vervroeging) van het hoogwater per etmaal gedurende een aantal etmalen na (vóór) de dag van springtij.

III Enkeldaagse groep.

1 Leeftijd.

2 Gemiddeld verval bij spring- en doodtij.

3 Tijden van HW en LW (van de voornaamste component $K_1$) op 1 Januari en 1 Juli.

IV Gemengd getij.

1 Kunnen springhoog- of springlaagwaters samenvallen?

2 Perioden, waarin ongeveer de halfjaarlijkse hoogste en laagste standen verwacht kunnen worden en de alsdan te verwachten waterstanden t.o.v. de middenstand.

*Formules.*

1 *Dubbeldaagse groep.*

*a* Leeftijd in uren = aantal graden van $(\varkappa S_2 - \varkappa M_2) - 1\frac{1}{2}\,\%$.

*b* Gem. verval bij springtij $= 2 \times (AM_2 + AS_2)$, bij doodtij $2 \times (AM_2 - AS_2)$.

*c* Tijd van HW bij springtij $= \frac{gS_2}{30°} \times 1^u$.

Tijd van LW bij springtij = tijd van HW bij springtij $+ 6^u$.

*d* Dagelijkse verlating HW (LW) wordt gevonden met behulp van de verhouding $\frac{AS_2}{AM_2}$ (zie fig. 3.1), terwijl HW (LW) doodtij altijd $6^u$ later valt dan HW (LW) springtij.

*e* Het tijdstip van eerste coïncidentie van $M_2$ en $S_2$ na 1 Januari $0^u$ volgt uit:

$$t \text{ (in uren)} = \frac{360° - (360° - V_0 + g)\, M_2 - (360° - g)\, S_2}{nS_2 - nM_2} \;^{1)}$$

De volgende coïncidenties hebben vanaf dit tijdstip telkens voortgaande met tijdsverlopen van $14^d\ 18^u{,}4$ plaats.
HW (LW) spring is het HW (LW), dat het dichtst valt bij het tijdstip der coïncidentie op het vaste uur van HW (LW) van $S_2$ (zie 1*c*).

*f* Ruwe berekening van de dagen van springtij kan geschieden door te nemen die dagen, waarvoor:

Datum corr. $M_2 = \frac{nM_2}{nS_2} \times gS_2 - gM_2 - (360° - V_0)\ M_2$ op 1 Jan.

*g* Coïncidentie van $K_2$ met $S_2$ heeft plaats, wanneer:

datum corr. $K_2 = \frac{nK_2}{nS_2} \times gS_2 - gK_2 - (360° - V_0)\ K_2$ op 1 Jan.

Dit geeft twee tijdstippen per jaar, welke 6 maanden uiteen liggen. Midden tussen deze twee tijdstippen werkt het $K_2$ getij het $S_2$ getij tegen.

*h* De phase van het maanselliptisch dubbeldaags $N_2$ getij kan niet in jaarlijks weerkerend verband gebracht worden met de phasen der andere getijden. De laagste standen zullen het ene jaar door het $N_2$ getij worden verhoogd, het andere jaar worden verlaagd. Hierom wordt, bij het bepalen der jaar-

---

1) Zie par. 3.5.

lijks voorkomende laagste of hoogste standen, het $N_2$ getij buiten beschouwing gelaten.
Met behulp van de punten 1*e* t/m 1*g* kan nagegaan worden of coïncidentie der $S_2$, $M_2$ en $K_2$ getijden mogelijk is.

2 *Enkeldaagse groep.*

*a* Leeftijd in uren = aantal graden van ($\varkappa K_1 - \varkappa O_1$) — 10 %.

*b* Gem. verval bij springtij = 2 × ($AK_1 + AO_1$), bij doodtij = 2 × ($AK_1 - AO_1$).

*c* Tijd van HW $K_1$ op 1 Jan. = $\frac{\text{gem. } 360° - V_0 \text{ op 1 Jan.} + g}{n}$.

Tijd van LW $K_1$ op 1 Jan. = tijd van HW $K_1$ op 1 Januari + $12^u$.
Het $K_1$ getij valt elke week ½ uur vroeger en na 6 maanden $12^u$ vroeger.

*d* Het tijdstip van eerste coïncidentie van $K_1$ en $O_1$ na 1 Januari $0^u$ volgt uit:

$$t \text{ (in uren)} = \frac{360° - (360° - V_0 + g)\,O_1 - [360° - (360° - V_0 + g)\,K_1]}{nK_1 - nO_1}\ ^{1)}$$

De volgende coïncidenties hebben vanaf dit tijdstip telkens voortgaande met tijdsverlopen van $13^d\ 15^u,9$ plaats.
De tijd van HW (LW) spring is de tijd van HW (LW) van $K_1$, dat het dichtst bij de coïncidentie valt.

3 *Gemengd getij.*

*a* Spring HW (LW) van beide groepen vallen samen, indien $gK_1 + gO_1 - gM_2$ = 347° tot 13° (167° tot 193°).
De phase van $M_2$ is bij coïncidentie van $K_1$ en $O_1$ steeds hetzelfde. De getijbeweging veroorzaakt door $K_1$, $O_1$ en $M_2$ heeft een periode van $13^d\ 15^u,9$.

*b* Onderlinge standen van $K_2$ en $K_1$ volgen uit:
Phase $K_2$ = 2 × phase $K_1$ + 2 × $gK_1 - gK_2$ — 180°.

*c* Onderlinge standen van $M_2$, $K_1$ en $O_1$ volgen uit:
Phase $M_2$ = phase $K_1$ + phase $O_1$ + $gK_1 + gO_1 - gM_2$.

*d* Onderlinge standen van $S_2$, $K_1$ en $P_1$ volgen uit:
Phase $S_2$ = phase $K_1$ + phase $P_1$ + $gK_1 + gP_1 - gS_2$.

*Berekening.*

Voor de becijfering der leeftijden heeft men de kappagetallen van $M_2$, $S_2$, $K_1$ en $O_1$ nodig, zodat deze met de formule, gegeven op blz. 186, afgeleid worden.
Men krijgt in dit geval:

| | $S_2$ | $M_2$ | $K_1$ | $O_1$ |
|---|---|---|---|---|
| $\varkappa$ | 118° | 87° | 170° | 102° |

I 1 Uit de amplituden blijkt, dat het getijkarakter gemengd is.
2 Het reductievlak blijkt uit punt IV 2*e*.

[1] Zie par. 3.5.

II 1 Leeftijd dubbeld. groep volgt uit ($\varkappa S_2$ — $\varkappa M_2$) — $1\frac{1}{2}$ %
= (118° — 87°) — $1\frac{1}{2}$ % = + 31°.

Hiermede leeftijd = $31^u$ = $1\frac{1}{3}$ etmaal.

2 Gem. verval bij springtij = 2 ($AM_2$ + $AS_2$) = 2 (78 + 19) = 194 cm = 19 dm.
Gem. verval bij doodtij = 2 ($AM_2$ — $AS_2$) = 2 (78 — 19) = 118 cm = 12 dm.

3 Tijd van HW bij springtij $= \frac{gS_2}{30^\circ} \times 1^u = \frac{120^\circ}{30^\circ} \times 1^u = 4^u$ en $4^u + 12^u = 16^u$.

Tijd van LW bij springtij ($6^u$ later) = $10^u$ en $22^u$.

4 $\frac{AS_2}{AM_2} = \frac{19}{78} = 0{,}24$ geeft met behulp van tafel 12 een dagelijkse verlating van 45 min. van 5 dagen vóór tot 5 dagen na springtij. Voorts is HW (LW) doodtij altijd $6^u$ later dan HW (LW) springtij.

III 1 Leeftijd enkeldaagse groep volgt uit ($\varkappa K_1$ — $\varkappa O_1$) — 10%
= (170° — 102°) — 10 % = + 61°.

Hiermede leeftijd = $61^u$ = $2\frac{1}{2}$ etmaal.

2 Gem. verval bij springtij = 2 ($AK_1$ + $AO_1$) = 2 (67 + 48) = 230 cm = 23 dm.
Gem. verval bij doodtij = 2 ($AK_1$ — $AO_1$) = 2 (67 — 48 ) = 38 cm = 4 dm.

3 Tijd van HW $K_1$ op 1 Jan. =

$$\frac{\text{gem. } 360^\circ - V_0 \text{ op 1 Jan.} + g}{n} \times 1^u = \frac{350^\circ + 171^\circ}{15^\circ{,}04} \times 1^u = 11^u.$$

Tijd van LW $K_1$ op 1 Jan. = $11^u + 12^u = 23^u$.
Aangezien het $K_1$ getij elke dag $3^m56^s$ vroeger HW geeft, volgt:
HW (LW) 1 Juli te $23^u$ ($11^u$), terwijl voorts het enkeldaags HW (LW) elke week $\frac{1}{2}$ uur vroeger valt.

IV 1 Spring $\frac{\text{hoog}}{\text{laag}}$ waters van beide groepen vallen samen, indien

$gK_1 + gO_1 - gM_2 = \frac{347^\circ \text{ tot } 13^\circ}{167^\circ \text{ tot } 193^\circ}$. In dit geval is $gK_1 + gO_1 - gM_2 =$
= 171° + 96° — 82° = 185°.

De springlaagwaters der beide groepen kunnen dus samenvallen.

Opgemerkt wordt, dat nimmer zowel de springhoogwaters als de springlaagwaters kunnen samenvallen.

*2a* Onderzoek onderlinge standen $K_2$ en $K_1$.
Phase $K_2$ = 2 × phase $K_1$ + 2 × $gK_1$ — $gK_2$ — 180°
= 2 × phase $K_1$ + 342° — 121° — 180°
= 2 × phase $K_1$ + 41°.

Bij LW $K_1$ (phase $K_1$ = 180°) is phase $K_2$ = 41°.

Aangezien $K_2$ practisch steeds op dezelfde wijze $K_1$ beïnvloedt, valt

HW $K_2$ $\frac{41^\circ}{30^\circ} \times 1^u = 1^u{,}4$ vóór LW $K_1$

LW $K_2$ $\frac{180^\circ - 41^\circ}{30^\circ} \times 1^u = 4^u{,}6$ na LW $K_1$.

2*b* Onderzoek onderlinge standen $M_2$, $K_1$ en $O_1$.

Phase $M_2$ = phase $K_1$ + phase $O_1$ + $gK_1$ + $gO_1$ — $gM_2$

= phase $K_1$ + phase $O_1$ + 171° + 96° — 82°

= phase $K_1$ + phase $O_1$ + 185°.

Bij coïncidentie LW's $K_1$ en $O_1$ is phase $M_2$ = 185°,

dan valt LW $M_2$ $\frac{185° - 180°}{28°,98} \times 1^u = 0^u,2$ vóór LW $K_1$.

Bij coïncidentie LW's $K_1$ en $M_2$ is phase $O_1$ = 175° (— 185°),

dan valt LW $O_1$ $\frac{180° - 175°}{13°,94} \times 1^u = 0^u,4$ na LW $K_1$.

2*c* Onderzoek combinaties.

Het zou voor de hand liggen om thans alleen de onderstaande combinaties *c*) t/m *e*) te onderzoeken, doch i.v.m. het in aanmerking brengen van de invloed van het $P_1$ getij wordt dit onderzoek uitgestrekt tot de volgende combinaties:

*a*) LW $O_1$ $2^u,5$ vóór LW $K_1$, LW $M_2$ $1^u,5$ vóór LW $K_1$
*b*) „ „ $1^u,5$ „ „ „ „ „ $1^u$ „ „ „
*c*) „ „ $0^u,5$ „ „ „ „ „ $0^u,5$ „ „ „
*d*) „ „ $0^u,5$ na „ „ „ „ tegelijk met LW $K_1$
*e*) „ „ $1^u,5$ „ „ „ „ „ $0^u,5$ na LW $K_1$
*f*) „ „ $2^u,5$ „ „ „ „ „ $1^u$ „ „ „
*g*) „ „ $3^u,5$ „ „ „ „ „ $1^u,5$ „ „ „
*h*) „ „ $4^u,5$ „ „ „ „ „ $2^u$ „ „ „.

De combinaties *c*) en *d*) kunnen voorkomen op de dagen van enkeldaags springtij; *a*) en *b*) één dag vóór, en de overige 1 en 2 dagen na enkeldaags spring.

Vanaf $2^u$ vóór tot $3^u$ na LW $K_1$ volgen hieronder om het half uur de waterstanden t.o.v. het middenstandsvlak (+ beneden, — boven middenstand).

| | Vóór LW $K_1$ | | | | LW $K_1$ | Na LW $K_1$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $2^u$ | $1^u,5$ | $1^u$ | $0^u,5$ | | $0^u,5$ | $1^u$ | $1^u,5$ | $2^u$ | $2^u,5$ | $3^u$ |
| $K_1$ | 58 | 62 | 65 | 66 | 67 | 66 | 65 | 62 | 58 | 53 | 48 |
| $K_2$ | — 9 | — 9 | — 9 | — 8 | — 7 | — 5 | — 3 | 0 | 3 | 5 | 7 |
| $K_1 + K_2$ | 49 | 53 | 56 | 58 | 60 | 61 | 62 | 62 | 61 | 58 | 55 |
| Het $O_1$ getij geeft op die uren: | | | | | | | | | | | |
| a) | 48 | 47 | 45 | 42 | 39 | 36 | 32 | 27 | 22 | 17 | 11 |
| b) | 48 | 48 | 48 | 47 | 45 | 42 | 39 | 36 | 32 | 27 | 22 |
| c) | 45 | 47 | 48 | 48 | 48 | 47 | 45 | 42 | 39 | 36 | 32 |
| d) | 39 | 42 | 45 | 47 | 48 | 48 | 48 | 47 | 45 | 42 | 39 |
| e) | 32 | 36 | 39 | 42 | 45 | 47 | 48 | 48 | 48 | 47 | 45 |
| f) | 22 | 27 | 32 | 36 | 39 | 42 | 45 | 47 | 48 | 48 | 48 |
| g) | 11 | 17 | 22 | 27 | 32 | 36 | 39 | 42 | 45 | 47 | 48 |
| h) | — 1 | 5 | 11 | 17 | 22 | 27 | 32 | 36 | 39 | 42 | 45 |

| | Vóór LW $K_1$ | | | | LW $K_1$ | Na LW $K_1$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $2^u$ | $1^u,5$ | $1^u$ | $0^u,5$ | | $0^u,5$ | $1^u$ | $1^u,5$ | $2^u$ | $2^u,5$ | $3^u$ |
| **Het $M_2$ getij geeft op die uren:** | | | | | | | | | | | |
| a) | 76 | 78 | 76 | 68 | 57 | 41 | 24 | 4 | —15 | —34 | —51 |
| b) | 68 | 76 | 78 | 76 | 68 | 57 | 41 | 24 | 4 | —15 | —34 |
| c) | 57 | 68 | 76 | 78 | 76 | 68 | 57 | 41 | 24 | 4 | —15 |
| d) | 41 | 57 | 68 | 76 | 78 | 76 | 68 | 57 | 41 | 24 | 4 |
| e) | 24 | 41 | 57 | 68 | 76 | 78 | 76 | 68 | 57 | 41 | 24 |
| f) | 4 | 24 | 41 | 57 | 68 | 76 | 78 | 76 | 68 | 57 | 41 |
| g) | —15 | 4 | 24 | 41 | 57 | 68 | 76 | 78 | 76 | 68 | 57 |
| h) | —34 | —15 | 4 | 24 | 41 | 57 | 68 | 76 | 78 | 76 | 68 |
| **De resulterende standen door $K_1$, $K_2$, $O_1$ en $M_2$ op die uren zijn:** | | | | | | | | | | | |
| a) | 173 | 178 | 177 | 168 | | | | | | | |
| b) | 165 | 177 | 182 | 181 | 173 | 160 | | | | | |
| c) | | 168 | 180 | 184 | 184 | 176 | 164 | | | | |
| d) | | | 169 | 181 | 186 | 185 | 178 | 166 | | | |
| e) | | | | 168 | 181 | 186 | 186 | 178 | 166 | | |
| f) | | | | | 167 | 179 | 185 | 185 | 177 | 163 | |
| g) | | | | | | 165 | 177 | 182 | 182 | 173 | 160 |
| h) | | | | | | | 162 | 174 | 178 | 176 | 168 |

De laagste standen veroorzaakt door $K_1$, $K_2$, $O_1$ en $M_2$ zijn dus te verwachten bij enkeldaags springtij [*c*) en *d*)] en 1 dag na enkeldaags springtij [*e*) en *f*)]. Zij bedragen 184 à 186 cm en vallen $0^u,5$ vóór tot $1^u,5$ na LW $K_1$.

2*d* Onderzoek invloed $S_2$.

HW $S_2$ steeds te $\frac{g}{n} \times 1^u = \frac{120^\circ}{30^\circ} \times 1^u = 4^u$ en te $4^u + 12^u = 16^u$.

LW $S_2$ dus steeds te $10^u$ en $22^u$.

Valt dus LW $K_1$ tussen $10^u + 0^u,5$ en $10^u - 1^u,5$ en tussen $22^u + 0^u,5$ en $22^u - 1^u,5$, dus tussen $10^u,5$ en $8^u,5$ benevens tussen $22^u,5$ en $20^u,5$, dan kan men peil verwachten $186 + 19 = 205$ cm beneden middenstand.

Tijd van LW $K_1$ volgt uit: $t = \frac{360^\circ - V_0 + g + 180^\circ}{15^\circ,04} \times 1^u$,

waaruit $360^\circ - V_0 = t \times 15^\circ,04 - g - 180^\circ$.

Tijd van LW $10^u,5$ tot $8^u,5$ geeft $t = 10^u,5$ tot $8^u,5$, zodat op de gezochte data $360^\circ - V_0 = 167^\circ$ tot $137^\circ$.

Gemiddelde waarde $360^\circ - V_0$ $K_1$ op 1 Jan. $= 350^\circ$, dus gezochte data zijn die met de datum correctie $177^\circ$ tot $147^\circ$, d.i. 6 Juli tot 5 Augustus.

Evenzo vindt men voor LW $K_1$ $22^u,5$ tot $20^u,5$: 14 Jan. tot 14 Februari.

2*e* Onderzoek invloed $P_1$.

$$\begin{aligned}\text{Phase } S_2 &= \text{phase } K_1 + \text{phase } P_1 + gK_1 + gP_1 - gS_2 \\ &= \text{phase } K_1 + \text{phase } P_1 + 171^\circ + 171^\circ - 120^\circ \\ &= \text{phase } K_1 + \text{phase } P_1 + 222^\circ.\end{aligned}$$

Bij combinatie a), waar $K_1$, $K_2$, $O_1$ en $M_2$ te zamen $1^u,5$ vóór LW$K_1$ LW geven en dus, om ten volle mede te werken, ook $S_2$ $1^u,5$ vóór LW $K_1$ moet vallen, is op het ogenblik van LW $K_1$ phase $S_2$ 225°, phase $K_1$ 180°, dus phase $P_1$ 183°.

Bij comb. a), waar LW $S_2$, $1^u,5$ vóór LW $K_1$ valt, is bij LW $K_1$ phase $P_1$ 183°
„ „ b), „ „ „ $1^u$ „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ 168°
„ „ c), „ „ „ $0^u,5$ of $0^u$ „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ 153° of 138°
„ „ d), „ „ „ $0^u$ of $0^u,5$ na „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ 138° of 123°
„ „ e), „ „ „ $0^u,5$ of $1^u$ „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ 123° of 108°
„ „ f), „ „ „ $1^u$ of $1^u,5$ „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ 108° of 93°
„ „ g), „ „ „ $1^u,5$ of $2^u$ „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ 93° of 78°
„ „ h), „ „ „ $2^u$ of $2^u,5$ „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ 78° of 63°

Bij a) valt dan LW $P_1$ gelijk met LW $K_1$, bij b) $1^u$ na LW $K_1$, bij c) $2^u$ of $3^u$ na LW $K_1$, bij d) $3^u$ of $4^u$ na LW $K_1$, bij e) $4^u$ of $5^u$ na LW $K_1$ bij f) $5^u$ of $6^u$ na LW $K_1$, bij g) $6^u$ of $7^u$ na LW $K_1$, bij h) $7^u$ of $8^u$ na LW $K_1$.

Met deze gegevens vindt men voor de standen van het $P_1$ getij voor de verschillende combinaties:

| | Vóór LW $K_1$ | | | | LW $K_1$ | Na LW $K_1$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $2^u$ | $1^u,5$ | $1^u$ | $0^u,5$ | | $0^u,5$ | $1^u$ | $1^u,5$ | $2^u$ | $2^u,5$ | $3^u$ |
| a) | 15 | 16 | 16 | 17 | **17** | 17 | 16 | 16 | 15 | 14 | 12 |
| b) | 12 | 14 | 15 | 16 | 16 | 17 | **17** | 17 | 16 | 16 | 15 |
| c) | 7 | 9 | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 | 16 | 17 | **17** | 17 |
| d) | 2 | 5 | 7 | 9 | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 | 16 | 17 |
| e) | — 2 | 0 | 2 | 5 | 7 | 9 | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 |
| f) | — 7 | — 5 | — 2 | 0 | 2 | 5 | 7 | 9 | 11 | 12 | 14 |
| g) | —11 | — 9 | — 7 | — 5 | — 2 | 0 | 2 | 5 | **7** | 9 | 11 |
| h) | —14 | —12 | —11 | — 9 | — 7 | — 5 | — 2 | 0 | 2 | 5 | 7 |

Resulterende standen van $K_1$, $K_2$, $O_1$, $M_2$, $P_1$ en $S_2$ (= 19 cm voor alle standen):

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a) | 207 | 213 | 212 | 204 | | | | | | | |
| b) | | 210 | **216** | **216** | 208 | | | | | | |
| c) | | | 210 | **215** | **217** | 210 | 199 | | | | |
| d) | | | 195 | 210 | **216** | **216** | 211 | 200 | | | |
| e) | | | | 192 | 207 | 214 | **216** | 208 | 199 | | |
| f) | | | | | 188 | 203 | 211 | 213 | 207 | 194 | |
| g) | | | | | | 184 | 198 | 206 | 208 | 201 | 190 |
| h) | | | | | | | | 193 | 199 | 200 | 194 |

Het $P_1$ getij brengt dus een verschuiving van de laagste standen van de combinaties *c*) tot *f*) tot de combinaties *b*) tot *e*), waarbij LW $S_2$ $1^u$ vóór LW $K_1$ tot $1^u$ na LW $K_1$ valt of andersom LW $K_1$ $1^u$ na LW $S_2$ tot $1^u$ vóór LW $S_2$ valt, dat, zoals reeds in punt IV 2*d* werd gezien, valt te $10^u$ en $22^u$, m.a.w. LW $K_1$, moet vallen tussen $11^u$ en $9^u$ en tussen $23^u$ en $21^u$, zodat thans (zie punt IV 2*d*) op de gezochte data $360° - V_0 K_1 = 184°$ tot 154° en 4° tot 334°.
Zodat de gezochte data zijn 29 Juni tot 29 Juli te $10^u$ en 28 December tot 27 Januari te $22^u$ bij dubbeldaags springtij met een laagste stand van ongeveer 22 dm onder middenstand.

2*f* Invloed $N_2$.

De phase van het N getij kan niet op eenvoudige wijze in verband worden gebracht met die der vorige getijden. De gevonden laagste standen worden het ene jaar door N verhoogd, het andere jaar verlaagd, zodat dit getij buiten beschouwing blijft voor het gemiddelde van de halfjaarlijks voorkomende laagste standen, hetgeen aangenomen is als reductievlak voor de Nederlandse zeekaarten van de Oost-Indische Archipel en van Suriname en de Ned. Antillen.

2*g* Onderzoek hoogste standen.

Het hoog (laag) water van het $M_2$ getij valt of voortdurend samen met het hoog (laag) water van de enkeldaagse groep of er bestaat een constant tijdsverschil.
Reeds bleek in punt IV 2*b*:

$$\text{phase } M_2 = \text{phase } K_1 + \text{phase } O_1 + 185°$$

waaruit volgt, dat bij coïncidentie van de hoogwaters van de enkeldaagse groep, het $M_2$ getij nagenoeg laagwater geeft en dit dus het enkeldaags springhoogwater steeds practisch volledig tegenwerkt.
(Indien dit phaseverschil tussen hoogwater enkeldaags springtij en hoogwater $M_2$ getij geringer is, dient men door berekening na te gaan, hoe het enkeldaags springhoogwater beïnvloed wordt door het $M_2$ getij, teneinde de hoogste standen te bepalen op de tijdstippen, dat het steeds veranderende uur van het hoogwater van $K_1$ (per etmaal 4 minuten vroeger) samenvalt met het constante uur van het hoogwater van $S_2$, hetgeen tweemaal per jaar geschiedt. Eerst dan kan men in een dergelijk geval een conclusie trekken betreffende de tijd en het peil der hoogst verwachtbare standen).
Voorts, in aanmerking nemende het karakter van het $K_2$ getij, blijkt, dat de hoogst voorkomende waterstanden verwacht kunnen worden te zijn gemiddeld ongeveer 10 dm (ampl. $M_2$ + ampl. $S_2$) boven middenstand, welke standen voorkomen op dagen van dubbeldaags springtij.

V Thans kan de navolgende getijbeschrijving worden samengesteld:

Getijkarakter: gemengd.

| | |
|---|---|
| *Dubbeldaags* | $\frac{\text{spring}}{\text{dood}}$tij 1½ etm. na $\frac{\text{VM. en NM.}}{\text{kwartierstanden}}$; gemiddeld verval $\frac{19 \text{ dm}}{12 \text{ dm}}$. |
| | $\frac{\text{HW.}}{\text{LW.}}$ spring te $\frac{4 \text{ h en } 16 \text{ h}}{10 \text{ h en } 22 \text{ h}}$ } Van 5 dagen vóór tot 5 dagen na springtij elke dag 45 min. later. Bij doodtij 6 uur *later* dan met springtij. |

| | |
|---|---|
| *Enkeldaags* | $\frac{\text{spring}}{\text{dood}}$tij 2½ etm. na maans $\frac{\text{grootste decl.}}{\text{decl.} = 0^\circ}$; gemiddeld verval $\frac{23 \text{ dm}}{4 \text{ dm}}$. |
| | $\frac{\text{HW.}}{\text{LW.}}$ 1 Jan. te $\frac{11 \text{ h}}{23 \text{ h}}$; 1 Juli te $\frac{23 \text{ h}}{11 \text{ h}}$; elke week ½ uur *vroeger*. |

De springlaagwaters van de twee getijden kunnen samenvallen, waardoor men als laagst voorkomende waterstanden kan verwachten ongeveer 22 dm beneden middenstand omstreeks Jan. te 22 h en omstreeks Juli te 10h (bij dagen van dubbeld. springtij). Als hoogst voorkomende waterstanden kan men verwachten gemiddeld ongeveer 10 dm boven middenstand (bij dagen van dubbeld. springtij).
Voor ligging van het reductievlak zou aan de hand van de getijbeschrijving in de lijst der getijconstanten in de Zeemansgids opgenomen kunnen worden: 22 dm beneden middenstand. Daar de werkelijke getijbeweging echter een groter verval geeft dan volgens de onvolledige getijconstanten, is het reductievlak voor de opneming en voor de zeekaart bepaald op 25 dm beneden de middenstand, welk bedrag in de lijst der constanten (laatste kolom) in de Zeemansgids is opgenomen.

*Opmerking.*

In verband met de vele mogelijkheden, welke zich kunnen voordoen, zoals b.v. gemengd getij, overheersend dubbel- of enkeldaags getij, nagenoeg zuiver dubbel- of enkeldaags getij, al of niet samenvallen of nagenoeg kunnen samenvallen der springhoog- of springlaagwaters e.d., vereist het opmaken van de getijbeschrijving voor de Zeemansgids een zeer grondige kennis van en inzicht in de getijleer, teneinde elk geval afzonderlijk goed in beschouwing te nemen.

## 10.4 Getijvoorspelling[1]) en reductiebepaling

*Gegeven.*

Riouw en Lingga Archipel; Tandjoeng Oeban (Str. Riouw) (29 etm.) 1°,1 Nb., 104°,2 El.

| M.T.G. + | Constanten | $S_2$ | $M_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | $N_2$ | $K_2$ | Ligging reductievlak der opneming beneden middenstand |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $7^u0^m$ | A | 21 cm | 64 cm | 29 cm | 34 cm | 10 cm | | 5 cm | 150 cm |
| | g | 7° | 289° | 99° | 35° | 99° | | 8° | |

*Gevraagd.*

Reducties voor 24 Mei 1940 (schrikkeljaar !) van $09^u.00$—$16^u.00$ standaardtijd.

[1]) Wil men corrigeren voor de ondergeschikte getijden met behulp van tafel 11, dan wordt verwezen naar par. 4.1, blz. 86.

*Berekening.*

| | $S_2$ | $M_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | $K_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 360° — $V_0$ 1 Jan. 1940, $0^u$ M.T.G. . . | 000 | 142 | 348 | 156 | 010 | 156 |
| Datum verb. (schr. jaar) 25 Mei . . . . | 000 | 271 | 218 | 053 | 142 | 076 |
| g . . . . . . . . . . . . . . . . . | 007 | 289 | 099 | 035 | 099 | 008 |
| Som . . . . . . . . . . . . . . . | 007 | 702 | 665 | 244 | 251 | 240 |
| Veelvoud van 360° . . . . . . . . . | | 360 | 360 | | | |
| Tijden van HW in graden . . . . . | 007 | 342 | 305 | 244 | 251 | 240 |
| Tijden van HW afgerond op halve uren | 0 | 12 | 20,5 | 17,5 | 16,5 | 8 |
| Gemiddelde amplituden . . . . . . . | 21 | 64 | 29 | 34 | 10 | 5 |
| Jaarcorrecties. . . . . . . . . . . . | | | — 3 | — 6 | | |
| Amplituden voor 1940 . . . . . . . | 21 | 64 | 26 | 28 | 10 | 5 |

Vul thans de waarden der amplituden voor het betrokken jaar (21, 64, 26 enz.) eerst in op de becijferde tijden van HW der getijden (dus resp. te $0^u$, $12^u$, $20^u$,5 enz.), waarna de overige partiële getijstanden met behulp van de tafel ingevuld kunnen worden.

Bij oneven waarden van amplituden dient op zicht tussen twee kolommen geïnterpoleerd te worden.

Doordat „g" gebruikt wordt, zijn alle verkregen waarden opgegeven in standaardtijd.

Gebruik van een plank met verschuifbare latten vereenvoudigt de volgende bewerking aanmerkelijk.

| Uren | $S_2$ | $M_2$ | $K_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | Totaal t.o.v. middenstand |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 21 | | | | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | |
| 8 | | | 5 | | | | |
| 9 | 0 | 3 | 4 | — 26 | — 13 | — 4 | — 36 |
| 10 | 11 | 34 | 3 | — 24 | — 7 | — 1 | 16 |
| 11 | 18 | 56 | 0 | — 21 | 0 | 1 | 54 |
| 12 | 21 | 64 | — 3 | — 16 | 6 | 4 | 76 |
| 13 | 18 | 56 | — 4 | — 10 | 13 | 6 | 79 |
| 14 | 11 | 34 | — 5 | — 3 | 18 | 8 | 63 |
| 15 | 0 | 3 | — 4 | 3 | 23 | 9 | 34 |
| 16 | — 11 | — 28 | — 3 | 10 | 26 | 10 | 4 |

| Uren | $S_2$ | $M_2$ | $K_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | Totaal t.o.v. middenstand |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16,5 | | | | | | 10 | |
| 17 | | | | | | | |
| 17,5 | | | | | 28 | | |
| 18 | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| 20,5 | | | | 26 | | | |
| 21 | | | | | | | |

Zet op millimeterpapier een X-as, welke tevens de middenstand aangeeft. Zet op deze X-as de volle uren op een gemakkelijk afleesbare vaste schaal (b.v. $1^u = 20$ mm). Zet op de Y-as vanaf de X-as met tussenruimten van b.v. 5 mm naar boven + 10, + 20 enz. (voorstellende centimeters water t.o.v. middenstand) en naar beneden — 10, — 20 enz. Vervolgens worden de waarden uit de laatste kolom afgezet en zodoende de getijkromme verkregen.

Thans moeten de reducties telkens bij verspringen van 1 dm worden afgelezen. Hiertoe neemt men een smalle strook millimeterpapier en zet hierop om de 5 mm (zelfde schaal als Y-as) naar boven toe 0, — 1, — 2, — 3 enz. Deze strook legt men met — 15 (in dit geval is n.l. het reductievlak 150 cm beneden middenstand) op de X-as en leest nu op de X-as de tijd af en op de strook, die meegeschoven wordt, de reductie bij verspringen van de reductie met 1 dm. Opgemerkt wordt, dat men steeds aan de veilige kant blijft met het reduceren, d.w.z. dat men in de opgaande lijn van de getijkromme de nieuwe (zwaardere) reductie laat ingaan, *zodra* men meer behoort te reduceren, dan het volle voorafgaande aantal decimeters en in de neergaande lijn niet de nieuwe (lichtere) reductie toepast, *alvorens* de toe te passen reductie gelijk is aan dit volle aantal decimeters.

In zeldzame gevallen kan de getijkromme onder het reductievlak komen.

Men reduceert dan met een *positief* bedrag tot het reductievlak van de kaart.

# XI. TAFELS

Tafel 1

Vermenigvuldigers voor de berekening van X, Y uit uurwaarnemingen.
(Voor lange serie van 29 etmalen en korte serie van 15 etmalen).

| | UREN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| $X_1$ | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| $Y_1$ | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $X_2$ | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| $Y_2$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| $X_4$ | 1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 1 |
| $Y_4$ | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 |

TAFEL 2

Vermenigvuldigers voor de berekening van $X_{00}$, $X_{10}$, ......... $Y_{10}$, .........

| Tweede index | 0 | 2 | b | 3 | o | 4 | d |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vermenigvuldigers voor B (29 etm) | — 29 | — 1 | 0 | — 1 | 0 | — 1 | 0 |
| Idem (15 etm) | — 15 | 1 | 0 | 5 | 0 | 1 | 0 |
| | 1 | 1 | 0 | — 1 | 1 | 1 | 0 |
| Vermenigvuldigers voor X + B en Y + B | 1 | 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | — 1 |
| | 1 | 1 | — 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 |
| | 1 | 1 | — 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 |
| Voor 29 etm. alle regels gebruiken | 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | — 1 | 1 |
| | 1 | — 1 | — 1 | 1 | — 1 | 1 | 1 |
| | 1 | — 1 | — 1 | 1 | — 1 | 1 | 1 |
| | 1 | — 1 | 0 | — 1 | — 1 | 1 | 0 |
| | 1 | — 1 | 1 | — 1 | — 1 | 1 | — 1 |
| | 1 | — 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 |
| | 1 | — 1 | 1 | — 1 | 1 | — 1 | — 1 |
| Voor 15 etm. middelste 15 regels gebr. | 1 | 1 | 1 | — 1 | 1 | — 1 | 1 |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 | 1 |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Middelste dag | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | 1 | 1 | — 1 | 1 | — 1 | 1 | — 1 |
| | 1 | 1 | — 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 |
| | 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 |
| | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 |
| | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | — 1 | 1 |
| | 1 | — 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 1 | — 1 | 0 | — 1 | 1 | 1 | 0 |
| | 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 |
| | 1 | — 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 |
| | 1 | — 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | — 1 |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | 1 |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | 1 |
| | 1 | 1 | 1 | — 1 | — 1 | 1 | 1 |
| | 1 | 1 | 0 | — 1 | — 1 | 1 | 0 |

Tafel 3*a*

Factoren voor de analyse uit 29 etmalen waarnemingen

| | | $S_0$ | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $M_4$ | $MS_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Voor schema V en PR cos *r* | $X_{00}$ | 1.00 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | $X_{10}$ | ... | ... | ... | ... | 1.00 | —0.08 | ... | ... |
| | $X_{12}—Y_{1b}$ | ... | 0.07 | ... | ... | —0.02 | 1.00 | ... | 0.02 |
| | $X_{13}—Y_{1c}$ | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | $X_{20}$ | ... | —0.03 | 1.00 | —0.03 | ... | ... | ... | ... |
| | $X_{22}—Y_{2b}$ | ... | 1.00 | 0.015 | 0.038 | 0.002 | —0.058 | ... | —0.035 |
| | $X_{23}—Y_{2c}$ | ... | —0.06 | ... | 1.00 | ... | ... | ... | ... |
| | $X_{42}—Y_{4b}$ | ... | 0.03 | ... | ... | ... | ... | ... | 1.00 |
| | $X_{44}—Y_{4d}$ | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 1.00 | 0.08 |
| Voor schema VI en PR sin *r* | $Y_{10}$ | ... | ... | ... | ... | 1.00 | —0.08 | ... | ... |
| | $Y_{12}+X_{1b}$ | ... | 0.07 | ... | ... | —0.02 | 1.00 | ... | 0.03 |
| | $Y_{13}+X_{1c}$ | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | $Y_{20}$ | ... | —0.03 | 1.00 | —0.03 | ... | ... | ... | ... |
| | $Y_{22}+X_{2b}$ | ... | 1.00 | 0.015 | 0.032 | ... | —0.057 | ... | —0.035 |
| | $Y_{23}+X_{2c}$ | ... | —0.06 | ... | 1.00 | ... | ... | ... | ... |
| | $Y_{42}+X_{4b}$ | ... | 0.03 | ... | ... | ... | ... | 0.01 | 1.00 |
| | $Y_{44}+X_{4d}$ | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 1.00 | 0.08 |
| Voor schema VII | Deler P | 696 | 559 | 448 | 566 | 439 | 565 | 507 | 535 |
| Voor schema VII | Constante *p* | ... | 333° | 345° | 327° | 173° | 160° | 307° | 318° |

TAFEL *3b*

Factoren voor de analyse uit 15 etmalen waarnemingen

| | | $S_0$ | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $M_4$ | $MS_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Voor schema V en PR cos r | $X_{00}$ | 1.00 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | $X_{10}$ | 0.01 | —0.01 | 0.01 | 0.03 | 1.00 | —0.07 | 0.01 | ... |
| | $X_{12}—Y_{1b}$ | —0.02 | 0.09 | —0.01 | —0.09 | —0.09 | 1.00 | —0.02 | 0.02 |
| | $X_{13}—Y_{1c}$ | 0.04 | —0.07 | 0.01 | 0.13 | 0.20 | —0.59 | 0.03 | ... |
| | $X_{20}$ | —0.01 | —0.15 | 1.00 | 0.29 | 0.01 | ... | —0.02 | ... |
| | $X_{22}—Y_{2b}$ | 0.01 | 1.00 | —0.14 | —0.61 | —0.02 | —0.03 | 0.03 | —0.03 |
| | $X_{23}—Y_{2c}$ | —0.02 | —0.65 | 0.25 | 1.00 | 0.03 | ... | —0.05 | —0.01 |
| | $X_{42}—Y_{4b}$ | ... | 0.01 | ... | 0.01 | ... | ... | 0.10 | 1.00 |
| | $X_{44}—Y_{4d}$ | ... | —0.01 | 0.01 | 0.02 | ... | ... | 1.01 | —0.05 |
| Voor schema VI en PR sin *r* | $Y_{10}$ | ... | ... | —0.01 | 0.02 | 1.01 | —0.08 | 0.01 | 0.01 |
| | $Y_{12}+X_{1b}$ | ... | 0.05 | 0.01 | —0.05 | —0.12 | 1.05 | —0.03 | 0.01 |
| | $Y_{13}+X_{1c}$ | ... | —0.02 | —0.02 | 0.09 | 0.24 | —0.65 | 0.04 | 0.02 |
| | $Y_{20}$ | ... | —0.16 | 1.00 | 0.30 | —0.01 | 0.02 | —0.03 | —0.01 |
| | $Y_{22}+X_{2b}$ | ... | 1.04 | —0.15 | —0.64 | 0.02 | —0.10 | 0.04 | —0.02 |
| | $Y_{23}+X_{2c}$ | ... | —0.70 | 0.26 | 1.03 | —0.03 | 0.09 | —0.07 | —0.03 |
| | $Y_{42}+X_{4b}$ | ... | 0.02 | ... | ... | ... | ... | 0.11 | 1.00 |
| | $Y_{44}+X_{4d}$ | ... | —0.03 | 0.01 | 0.05 | ... | ... | 1.00 | —0.06 |
| Voor schema VII | Deler P | 360 | 175 | 214 | 166 | 217 | 177 | 273 | 280 |
| Voor schema VII | Constante *p* | ... | 333° | 345° | 327° | 173° | 160° | 307° | 318° |

TAFEL 4 — Voor de berekening van *r* uit PR cos *r* en PR sin *r*

$$\text{tg } r = \frac{\text{PR sin } r}{\text{PR cos } r}$$

| ± tg *r* | *r* | | | | ± tg *r* | *r* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | ° | ° | | ° | ° | ° | ° |
| 0.000 | 0 | 180 | 180 | 360 | 1.000 | 45 | 135 | 225 | 315 |
| 0.017 | 1 | 179 | 181 | 359 | 1.036 | 46 | 134 | 226 | 314 |
| 0.035 | 2 | 178 | 182 | 358 | 1.072 | 47 | 133 | 227 | 313 |
| 0.052 | 3 | 177 | 183 | 357 | 1.111 | 48 | 132 | 228 | 312 |
| 0.070 | 4 | 176 | 184 | 356 | 1.150 | 49 | 131 | 229 | 311 |
| 0.087 | 5 | 175 | 185 | 355 | 1.192 | 50 | 130 | 230 | 310 |
| 0.105 | 6 | 174 | 186 | 354 | 1.235 | 51 | 129 | 231 | 309 |
| 0.123 | 7 | 173 | 187 | 353 | 1.280 | 52 | 128 | 232 | 308 |
| 0.141 | 8 | 172 | 188 | 352 | 1.327 | 53 | 127 | 233 | 307 |
| 0.158 | 9 | 171 | 189 | 351 | 1.376 | 54 | 126 | 234 | 306 |
| 0.176 | 10 | 170 | 190 | 350 | 1.428 | 55 | 125 | 235 | 305 |
| 0.194 | 11 | 169 | 191 | 349 | 1.483 | 56 | 124 | 236 | 304 |
| 0.213 | 12 | 168 | 192 | 348 | 1.540 | 57 | 123 | 237 | 303 |
| 0.231 | 13 | 167 | 193 | 347 | 1.600 | 58 | 122 | 238 | 302 |
| 0.249 | 14 | 166 | 194 | 346 | 1.664 | 59 | 121 | 239 | 301 |
| 0.268 | 15 | 165 | 195 | 345 | 1.732 | 60 | 120 | 240 | 300 |
| 0.287 | 16 | 164 | 196 | 344 | 1.804 | 61 | 119 | 241 | 299 |
| 0.306 | 17 | 163 | 197 | 343 | 1.881 | 62 | 118 | 242 | 298 |
| 0.325 | 18 | 162 | 198 | 342 | 1.963 | 63 | 117 | 243 | 297 |
| 0.344 | 19 | 161 | 199 | 341 | 2.050 | 64 | 116 | 244 | 296 |
| 0.364 | 20 | 160 | 200 | 340 | 2.14 | 65 | 115 | 245 | 295 |
| 0.384 | 21 | 159 | 201 | 339 | 2.25 | 66 | 114 | 246 | 294 |
| 0.404 | 22 | 158 | 202 | 338 | 2.36 | 67 | 113 | 247 | 293 |
| 0.424 | 23 | 157 | 203 | 337 | 2.48 | 68 | 112 | 248 | 292 |
| 0.445 | 24 | 156 | 204 | 336 | 2.61 | 69 | 111 | 249 | 291 |
| 0.466 | 25 | 155 | 205 | 335 | 2.75 | 70 | 110 | 250 | 290 |
| 0.488 | 26 | 154 | 206 | 334 | 2.90 | 71 | 109 | 251 | 289 |
| 0.510 | 27 | 153 | 207 | 333 | 3.08 | 72 | 108 | 252 | 288 |
| 0.532 | 28 | 152 | 208 | 332 | 3.27 | 73 | 107 | 253 | 287 |
| 0.554 | 29 | 151 | 209 | 331 | 3.49 | 74 | 106 | 254 | 286 |
| 0.577 | 30 | 150 | 210 | 330 | 3.73 | 75 | 105 | 255 | 285 |
| 0.601 | 31 | 149 | 211 | 329 | 4.01 | 76 | 104 | 256 | 284 |
| 0.625 | 32 | 148 | 212 | 328 | 4.33 | 77 | 103 | 257 | 283 |
| 0.649 | 33 | 147 | 213 | 327 | 4.70 | 78 | 102 | 258 | 282 |
| 0.675 | 34 | 146 | 214 | 326 | 5.14 | 79 | 101 | 259 | 281 |
| 0.700 | 35 | 145 | 215 | 325 | 5.67 | 80 | 100 | 260 | 280 |
| 0.727 | 36 | 144 | 216 | 324 | 6.31 | 81 | 99 | 261 | 279 |
| 0.754 | 37 | 143 | 217 | 323 | 7.12 | 82 | 98 | 262 | 278 |
| 0.781 | 38 | 142 | 218 | 322 | 8.14 | 83 | 97 | 263 | 277 |
| 0.810 | 39 | 141 | 219 | 321 | 9.51 | 84 | 96 | 264 | 276 |
| 0.839 | 40 | 140 | 220 | 320 | 11.4 | 85 | 95 | 265 | 275 |
| 0.869 | 41 | 139 | 221 | 319 | 14.3 | 86 | 94 | 266 | 274 |
| 0.900 | 42 | 138 | 222 | 318 | 19.1 | 87 | 93 | 267 | 273 |
| 0.933 | 43 | 137 | 223 | 317 | 28.6 | 88 | 92 | 268 | 272 |
| 0.966 | 44 | 136 | 224 | 316 | 57.3 | 89 | 91 | 269 | 271 |
| 1.000 | 45 | 135 | 225 | 315 | ∞ | 90 | 90 | 270 | 270 |
| PR cos *r* | + | — | — | + | PR cos *r* | + | — | — | + |
| PR sin *r* | + | + | — | — | PR sin *r* | + | + | — | — |

Tafel 5

Waarde van $f$ te $0^u$ M.T.G. op 1 Januari 1940—1980

| Jaar | $M_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $K_2$ | Jaar | $M_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $K_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1940 | 1.034 | 0.897 | 0.831 | 0.772 | 1960 | 1.038 | 0.882 | 0.806 | 0.748 |
| 1941 | 1.038 | 0.883 | 0.808 | 0.750 | 1961 | 1.035 | 0.892 | 0.822 | 0.763 |
| 1942 | 1.037 | 0.886 | 0.813 | 0.754 | 1962 | 1.029 | 0.917 | 0.864 | 0.805 |
| 1943 | 1.032 | 0.906 | 0.846 | 0.786 | 1963 | 1.019 | 0.953 | 0.922 | 0.873 |
| 1944 | 1.023 | 0.938 | 0.898 | 0.844 | 1964 | 1.008 | 0.992 | 0.986 | 0.960 |
| 1945 | 1.012 | 0.976 | 0.961 | 0.924 | 1965 | 0.995 | 1.030 | 1.048 | 1.058 |
| 1946 | 1.000 | 1.016 | 1.026 | 1.019 | 1966 | 0.983 | 1.063 | 1.101 | 1.152 |
| 1947 | 0.988 | 1.052 | 1.083 | 1.116 | 1967 | 0.973 | 1.089 | 1.143 | 1.233 |
| 1948 | 0.977 | 1.080 | 1.129 | 1.204 | 1968 | 0.967 | 1.106 | 1.170 | 1.290 |
| 1949 | 0.969 | 1.100 | 1.162 | 1.272 | 1969 | 0,964 | 1.113 | 1.182 | 1.315 |
| 1950 | 0.964 | 1.111 | 1.180 | 1.310 | 1970 | 0.965 | 1.110 | 1.178 | 1.306 |
| 1951 | 0.964 | 1.112 | 1.181 | 1.314 | 1971 | 0.970 | 1.097 | 1.158 | 1.264 |
| 1952 | 0.967 | 1.103 | 1.167 | 1.284 | 1972 | 0.978 | 1.076 | 1.123 | 1.193 |
| 1953 | 0.975 | 1.085 | 1.138 | 1.223 | 1973 | 0.989 | 1.047 | 1.075 | 1.103 |
| 1954 | 0.985 | 1.059 | 1.095 | 1.140 | 1974 | 1.002 | 1.011 | 1.016 | 1.006 |
| 1955 | 0.997 | 1.025 | 1.041 | 1.044 | 1975 | 1.014 | 0.971 | 0.952 | 0.913 |
| 1956 | 1.009 | 0.987 | 0.978 | 0.948 | 1976 | 1.025 | 0.933 | 0.890 | 0.835 |
| 1957 | 1.021 | 0.947 | 0.914 | 0.862 | 1977 | 1.033 | 0.902 | 0.840 | 0.780 |
| 1958 | 1.030 | 0.913 | 0.858 | 0.798 | 1978 | 1.037 | 0.884 | 0.810 | 0.752 |
| 1959 | 1.036 | 0.890 | 0.819 | 0.760 | 1979 | 1.037 | 0.884 | 0.809 | 0.751 |
| 1960 | 1.038 | 0.882 | 0.806 | 0.748 | 1980 | 1.033 | 0.900 | 0.836 | 0.777 |

TAFEL 6

Waarden van $V'$ te $0^u$ M.T.G. op 1 Januari 1940—1980

| Jaar | $M_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | Jaar | $M_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | ° | ° | | ° | ° | ° | ° |
| 1940 | 217.0 | 207.9 | 09.5 | 207.5 | 1960 | 310.2 | 261.3 | 09.7 | 300.5 |
| 1941 | 293,4 | 182.5 | 10.3 | 283.1 | 1961 | 026.5 | 235.9 | 10.4 | 016.1 |
| 1942 | 034.1 | 194.5 | 10.0 | 024.1 | 1962 | 127.3 | 247.9 | 10.2 | 117.1 |
| 1943 | 134.9 | 206.5 | 09.8 | 125.1 | 1963 | 228.0 | 259.9 | 09.9 | 218.1 |
| 1944 | 235.6 | 218.6 | 09.5 | 226.1 | 1964 | 328.8 | 272.0 | 09.7 | 319.1 |
| 1945 | 312.0 | 193.2 | 10.3 | 301.7 | 1965 | 045.2 | 246.5 | 10.4 | 034.7 |
| 1946 | 052.8 | 205.2 | 10.1 | 042.7 | 1966 | 145.9 | 258.6 | 10.2 | 135.7 |
| 1947 | 153.5 | 217.2 | 09.8 | 143.7 | 1967 | 246.7 | 270.6 | 10.0 | 236.7 |
| 1948 | 254.3 | 229.2 | 09.6 | 244.7 | 1968 | 347.4 | 282.6 | 09.7 | 337.7 |
| 1949 | 330.6 | 203.8 | 10.3 | 320.3 | 1969 | 063.8 | 257.2 | 10.5 | 053.3 |
| 1950 | 071.4 | 215.9 | 10.1 | 061.3 | 1970 | 164.6 | 269.2 | 10.2 | 154.3 |
| 1951 | 172.2 | 227.9 | 09.8 | 162.3 | 1971 | 265.3 | 281.3 | 10.0 | 255.3 |
| 1952 | 272.9 | 239.9 | 09.6 | 263.3 | 1972 | 006.1 | 293.3 | 09.8 | 356.3 |
| 1953 | 349.3 | 214.5 | 10.4 | 338.9 | 1973 | 082.4 | 267.9 | 10.5 | 071.9 |
| 1954 | 090.0 | 226.5 | 10.1 | 079.9 | 1974 | 183.2 | 279.9 | 10.3 | 172.9 |
| 1955 | 190.8 | 238.6 | 09.9 | 180.9 | 1975 | 283.9 | 291.9 | 10.0 | 273.9 |
| 1956 | 291.5 | 250.6 | 09.6 | 281.9 | 1976 | 024.7 | 304.0 | 09.8 | 014.9 |
| 1957 | 007.9 | 225.2 | 10.4 | 357.5 | 1977 | 101.1 | 278.6 | 10.5 | 090.5 |
| 1958 | 108.7 | 237.2 | 10.1 | 098.5 | 1978 | 201.8 | 290.6 | 10.3 | 191.5 |
| 1959 | 209.4 | 249.2 | 09.9 | 199.5 | 1979 | 302.6 | 302.6 | 10.1 | 292.5 |
| 1960 | 310.2 | 261.3 | 09.7 | 300.5 | 1980 | 043.3 | 314.7 | 09.8 | 033.5 |

TAFEL 7

Waarden van $V''$, aangroeiïng van $V'$ tot $0^u$ M.T.G. van de eerste dag van iedere maand

| Gewone jaren | | | | | *Schrikkel*jaren | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Maand | $M_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | Maand | $M_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ |
| | ° | ° | ° | ° | | ° | ° | ° | ° |
| Januari . | 000.0 | 000.0 | 000.0 | 000.0 | Januari . | 000.0 | 000.0 | 000.0 | 000.0 |
| Februari . | 324.2 | 279.2 | 030.6 | 233.6 | Februari . | 324.2 | 279.2 | 030.6 | 293.6 |
| Maart . . | 001.5 | 310.7 | 058.2 | 303.3 | Maart . . | 337.1 | 273.2 | 059.1 | 278.0 |
| April . . | 325.7 | 229.8 | 088.7 | 237.0 | April . . | 301.3 | 192.4 | 089.7 | 211.6 |
| Mei . . . | 314.2 | 183.4 | 118.3 | 195.9 | Mei . . . | 289.8 | 149.0 | 119.3 | 170.6 |
| Juni . . . | 278.4 | 105.6 | 148.8 | 129.6 | Juni . . . | 254.0 | 068.1 | 149.8 | 104.2 |
| Juli . . . | 266.9 | 062.2 | 178.4 | 088.6 | Juli . . . | 242.6 | 024.7 | 179.4 | 053.2 |
| Augustus. | 231.1 | 341.3 | 209.0 | 022.2 | Augustus. | 206.7 | 303.9 | 209.9 | 356.8 |
| September | 195.3 | 260.5 | 239.5 | 315.8 | September | 170.9 | 223.1 | 240.5 | 290.4 |
| October . | 183.9 | 217.1 | 269.1 | 274.8 | October . | 159.5 | 179.7 | 270.1 | 249.4 |
| November | 148.0 | 136.3 | 299.6 | 208.4 | November | 123.6 | 098.8 | 300.6 | 183.0 |
| December | 136.6 | 092.9 | 329.2 | 167.4 | December | 112.2 | 055.4 | 330.2 | 142.0 |

TAFEL 8

Waarden van $V'''$, aangroeiing van $V''$ tot $0^u$ M.T.G. van iedere dag der maand

| Dag | $M_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ | Dag | $M_2$ | $N_2$ | $K_1$ | $O_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | ° | ° | | ° | ° | ° | ° |
| 1 | 000.0 | 000.0 | 00.0 | 000.0 | 16 | 354.3 | 158.3 | 14.8 | 339.5 |
| 2 | 335.6 | 322.6 | 01.0 | 334.6 | 17 | 329.9 | 120.9 | 15.8 | 314.1 |
| 3 | 311.2 | 285.1 | 02.0 | 309.3 | 18 | 305.5 | 083.4 | 16.8 | 288.8 |
| 4 | 286.9 | 247.7 | 03.0 | 283.9 | 19 | 281.1 | 046.0 | 17.7 | 263.4 |
| 5 | 262.5 | 210.2 | 03.9 | 258.5 | 20 | 256.8 | 008.5 | 18.7 | 238.0 |
| 6 | 238.1 | 172.8 | 04.9 | 233.2 | 21 | 232.4 | 331.1 | 19.7 | 212.7 |
| 7 | 213.7 | 135.3 | 05.9 | 207.8 | 22 | 208.0 | 293.6 | 20.7 | 187.3 |
| 8 | 189.3 | 097.9 | 06.9 | 182.4 | 23 | 183.6 | 256.2 | 21.7 | 161.9 |
| 9 | 164.9 | 060.4 | 07.9 | 157.1 | 24 | 159.2 | 218.7 | 22.7 | 136.6 |
| 10 | 140.6 | 023.0 | 08.9 | 131.7 | 25 | 134.8 | 181.3 | 23.7 | 111.2 |
| 11 | 116.2 | 345.5 | 09.9 | 106.3 | 26 | 110.5 | 143.8 | 24.6 | 085.8 |
| 12 | 091.8 | 308.1 | 10.8 | 081.0 | 27 | 086.1 | 106.4 | 25.6 | 060.5 |
| 13 | 067.4 | 270.6 | 11.8 | 055.6 | 28 | 061.7 | 068.9 | 26.6 | 035.1 |
| 14 | 043.0 | 233.2 | 12.8 | 030.2 | 29 | 037.3 | 031.5 | 27.6 | 009.7 |
| 15 | 018.7 | 195.7 | 13.8 | 004.9 | 30 | 012.9 | 354.0 | 28.6 | 344.4 |
| | | | | | 31 | 348.6 | 316.6 | 29.6 | 319.0 |

TAFEL 9

Waarde van $u$ te $0^u$ M.T.G. op 1 Januari 1940—1980

| Jaar | $M_2$ | $K_1$ | $O_1$ | Jaar | $M_2$ | $K_1$ | $O_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | ° | | ° | ° | ° |
| 1940 | 0.9 | 4.4 | — 5.9 | 1960 | — 0.1 | — 0.2 | 0.3 |
| 1941 | 0.2 | 1.1 | — 1.5 | 1961 | — 0.8 | — 3.7 | 4.9 |
| 1942 | — 0.5 | — 2.4 | 3.2 | 1962 | — 1.4 | — 6.4 | 8.5 |
| 1943 | — 1.1 | — 5.5 | 7.2 | 1963 | — 1.8 | — 8.2 | 10.5 |
| 1944 | — 1.7 | — 7.7 | 9.9 | 1964 | — 2.1 | — 8.9 | 10.9 |
| 1945 | — 2.0 | — 8.8 | 10.9 | 1965 | — 2.1 | — 8.5 | 10.2 |
| 1946 | — 2.1 | — 8.8 | 10.6 | 1966 | — 1.9 | — 7.3 | 8.5 |
| 1947 | — 2.0 | — 7.9 | 9.2 | 1967 | — 1.5 | — 5.5 | 6.2 |
| 1948 | — 1.7 | — 6.2 | 7.2 | 1968 | — 0.9 | — 3.2 | 3.6 |
| 1949 | — 1.1 | — 4.1 | 4.6 | 1969 | — 0.2 | — 0.6 | 0.7 |
| 1950 | — 0.5 | — 1.6 | 1.8 | 1970 | 0.6 | 2.0 | — 2.2 |
| 1951 | 0.3 | 1.0 | — 1.1 | 1971 | 1.2 | 4.4 | — 5.0 |
| 1952 | 1.0 | 3.5 | — 3.9 | 1972 | 1.7 | 6.5 | — 7.5 |
| 1953 | 1.5 | 5.7 | — 6.5 | 1973 | 2.1 | 8.0 | — 9.5 |
| 1954 | 1.9 | 7.5 | — 8.8 | 1974 | 2.1 | 8.8 | —10.7 |
| 1955 | 2.1 | 8.6 | —10.3 | 1975 | 2.0 | 8.7 | —10.9 |
| 1956 | 2.1 | 8.9 | —11.0 | 1976 | 1.6 | 7.4 | — 9.6 |
| 1957 | 1.8 | 8.0 | —10.3 | 1977 | 1.1 | 5.1 | — 6.8 |
| 1958 | 1.3 | 6.1 | — 8.1 | 1978 | 0.4 | 1.9 | — 2.6 |
| 1959 | 0.7 | 3.2 | — 4.3 | 1979 | — 0.3 | — 1.6 | 2.2 |
| 1960 | — 0.1 | — 0.2 | 0.3 | 1980 | — 1.0 | — 4.8 | 6.4 |

TAFEL 10

Voor de berekening van $w$, W en (1 + W)

| S$_2$ en MS$_4$ | | | K$_1$ | | | N$_2$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hoek | $\frac{w}{f}$ | $\frac{W}{f}$ | Hoek | $wf$ | W$f$ | Hoek | $w$ | 1 + W |
| ° | ° | | ° | ° | | ° | ° | |
| 000 | 0.7 | — 0.214 | 000 | 0.0 | 0.331 | 000 | 0.0 | 1.184 |
| 010 | — 6.6 | — 0.192 | 010 | — 2.5 | 0.327 | 010 | 1.6 | 1.182 |
| 020 | — 12.3 | — 0.131 | 020 | — 4.9 | 0.316 | 020 | 3.1 | 1.174 |
| 030 | — 15.5 | — 0.046 | 030 | — 7.3 | 0.297 | 030 | 4.6 | 1.163 |
| 040 | — 16.5 | 0.047 | 040 | — 9.6 | 0.271 | 040 | 5.9 | 1.147 |
| 050 | — 15.6 | 0.134 | 050 | — 11.8 | 0.239 | 050 | 7.2 | 1.127 |
| 060 | — 13.4 | 0.207 | 060 | — 13.8 | 0.201 | 060 | 8.3 | 1.104 |
| 070 | — 10.3 | 0.258 | 070 | — 15.6 | 0.157 | 070 | 9.2 | 1.077 |
| 080 | — 6.6 | 0.284 | 080 | — 17.1 | 0.107 | 080 | 9.9 | 1.048 |
| 090 | — 2.6 | 0.284 | 090 | — 18.3 | 0.053 | 090 | 10.4 | 1.017 |
| 100 | 1.6 | 0.256 | 100 | — 19.1 | — 0.003 | 100 | 10.6 | 0.984 |
| 110 | 5.6 | 0.204 | 110 | — 19.3 | — 0.060 | 110 | 10.4 | 0.953 |
| 120 | 9.2 | 0.131 | 120 | — 19.0 | — 0.118 | 120 | 10.0 | 0.922 |
| 130 | 12.0 | 0.041 | 130 | — 17.8 | — 0.173 | 130 | 9.1 | 0.893 |
| 140 | 13.7 | — 0.058 | 140 | — 15.9 | — 0.224 | 140 | 7.8 | 0.867 |
| 150 | 13.6 | — 0.157 | 150 | — 13.1 | — 0.268 | 150 | 6.2 | 0.846 |
| 160 | 11.2 | — 0.245 | 160 | — 9.3 | — 0.302 | 160 | 4.3 | 0.830 |
| 170 | 6.0 | — 0.307 | 170 | — 4.9 | — 0.323 | 170 | 2.2 | 0.819 |
| 180 | — 0.9 | — 0.330 | 180 | 0.0 | — 0.331 | 180 | 0.0 | 0.816 |
| 190 | — 7.8 | — 0.308 | 190 | 4.9 | — 0.323 | 190 | — 2.2 | 0.819 |
| 200 | — 12.6 | — 0.247 | 200 | 9.3 | — 0.302 | 200 | — 4.3 | 0.830 |
| 210 | — 14.9 | — 0.163 | 210 | 13.1 | — 0.268 | 210 | — 6.2 | 0.846 |
| 220 | — 14.8 | — 0.067 | 220 | 15.9 | — 0.224 | 220 | — 7.8 | 0.867 |
| 230 | — 13.0 | 0.029 | 230 | 17.8 | — 0.173 | 230 | — 9.1 | 0.893 |
| 240 | — 9.8 | 0.115 | 240 | 19.0 | — 0.118 | 240 | — 10.0 | 0.922 |
| 250 | — 6.0 | 0.186 | 250 | 19.3 | — 0.060 | 250 | — 10.4 | 0.953 |
| 260 | — 1.8 | 0.236 | 260 | 19.1 | — 0.003 | 260 | — 10.6 | 0.984 |
| 270 | 2.6 | 0.263 | 270 | 18.3 | 0.053 | 270 | — 10.4 | 1.017 |
| 280 | 6.9 | 0.265 | 280 | 17.1 | 0.107 | 280 | — 9.9 | 1.048 |
| 290 | 10.8 | 0.241 | 290 | 15.6 | 0.157 | 290 | — 9.2 | 1.077 |
| 300 | 14.1 | 0.192 | 300 | 13.8 | 0.201 | 300 | — 8.3 | 1.104 |
| 310 | 16.5 | 0.124 | 310 | 11.8 | 0.239 | 310 | — 7.2 | 1.127 |
| 320 | 17.5 | 0.039 | 320 | 9.6 | 0.271 | 320 | — 5.9 | 1.147 |
| 330 | 16.8 | — 0.051 | 330 | 7.3 | 0.297 | 330 | — 4.6 | 1.163 |
| 340 | 13.7 | — 0.133 | 340 | 4.9 | 0.316 | 340 | — 3.1 | 1.174 |
| 350 | 8.0 | — 0.193 | 350 | 2.5 | 0.327 | 350 | — 1.6 | 1.182 |
| 360 | 0.7 | — 0.214 | 360 | 0.0 | 0.331 | 360 | 0.0 | 1.184 |
| „Hoek" is ($V + u$) voor K$_1$ / $f$ is $f$ voor K$_2$ | | | „Hoek" is ($2V + u$) voor K$_1$ / $f$ is $f$ voor K$_1$ | | | „Hoek" is $3V$ voor M$_2$ minus $2V$ voor N$_2$ | | |

TAFEL 11. Correcties op de hoeken P = 300° — g en factoren voor verbeterde amplituden. (Par. 4.1, blz. 86).

**Tafel X**

Iedere regel geeft veranderingen in θ over een tijdsinterval van 1 dag

| θ van formule aan voet tafel | $K_1$ w | $K_1$ 1 + W | $O_1$ w | $O_1$ 1 + W | $M_2$ w | $M_2$ 1 + W | $M_4$ w | $M_4$ 1 + W |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 000°—012° | 0° | 1.11 | — 1° | 1.19 | 0° | 1.00 | — 2° | 1.38 |
| 013 —025 | 1 | 1.11 | — 3 | 1.18 | — 1 | 0.99 | — 5 | 1.37 |
| 026 —038 | 2 | 1.10 | — 5 | 1.17 | — 2 | 0.99 | — 9 | 1.34 |
| 039 —051 | 2 | 1.08 | — 7 | 1.14 | — 3 | 0.98 | —12 | 1.30 |
| 052 —064 | 3 | 1.06 | — 8 | 1.11 | — 3 | 0.98 | —15 | 1.24 |
| 065 —077 | 3 | 1.04 | —10 | 1.08 | — 2 | 0.97 | —18 | 1.18 |
| 078 —090 | 3 | 1.01 | —11 | 1.04 | — 2 | 0.97 | —20 | 1.11 |
| 091 —103 | 3 | 0.99 | —11 | 0.99 | — 1 | 0.98 | —22 | 1.03 |
| 104 —117 | 3 | 0.96 | —11 | 0.95 | — 1 | 0.99 | —22 | 0.94 |
| 118 —130 | 3 | 0.94 | —10 | 0.91 | 0 | 1.01 | —22 | 0.85 |
| 131 —143 | 2 | 0.92 | — 9 | 0.87 | 0 | 1.02 | —20 | 0.77 |
| 144 —156 | 2 | 0.90 | — 7 | 0.84 | 0 | 1.04 | —16 | 0.70 |
| 157 —169 | 1 | 0.90 | — 4 | 0.82 | 0 | 1.05 | —10 | 0.65 |
| 170 —182 | 0 | 0.89 | — 1 | 0.81 | 0 | 1.05 | — 2 | 0.62 |
| 183 —195 | — 1 | 0.89 | 2 | 0.81 | 0 | 1.05 | 5 | 0.63 |
| 196 —208 | — 1 | 0.90 | 5 | 0.83 | 0 | 1.04 | 12 | 0.66 |
| 209 —221 | — 2 | 0.91 | 7 | 0.85 | 0 | 1.03 | 18 | 0.72 |
| 222 —234 | — 3 | 0.93 | 9 | 0.88 | 0 | 1.02 | 21 | 0.80 |
| 235 —246 | — 3 | 0.95 | 10 | 0.92 | 0 | 1.00 | 22 | 0.88 |
| 247 —259 | — 3 | 0.97 | 11 | 0.96 | 1 | 0.99 | 22 | 0.96 |
| 260 —272 | — 3 | 1.00 | 11 | 1.00 | 1 | 0.98 | 21 | 1.04 |
| 273 —285 | — 3 | 1.02 | 10 | 1.05 | 2 | 0.97 | 20 | 1.12 |
| 286 —298 | — 3 | 1.04 | 9 | 1.07 | 3 | 0.97 | 17 | 1.20 |
| 299 —311 | — 3 | 1.07 | 8 | 1.12 | 3 | 0.98 | 14 | 1.26 |
| 312 —324 | — 2 | 1.08 | 6 | 1.15 | 3 | 0.98 | 11 | 1.31 |
| 325 —338 | — 1 | 1.10 | 5 | 1.17 | 2 | 0.99 | 8 | 1.35 |
| 339 —351 | — 1 | 1.11 | 2 | 1.18 | 1 | 0.99 | 4 | 1.37 |
| 352 —004 | 0 | 1.11 | 0 | 1.19 | 0 | 1.00 | 1 | 1.38 |

| Formule voor θ | θ = (verschil in Astronomische argumenten) + ½ (verschil in Harmonische constanten P) | |
|---|---|---|
| | Astronomische argumenten | Harmonische constanten P |
| $K_1$ & $O_1$ | ($M_2$) minus ($N_2$) | ½ (300°—g$K_1$) minus ½ (300°—g$O_1$) |
| $M_2$ & $M_4$ | ($M_2$) minus ($N_2$) | ½ (300°—g$S_2$) minus ½ (300°—g$M_2$) |

**Tafel Y1**

Iedere regel geeft veranderingen in θ over een tijdsinterval van 10 dagen

| θ van formule aan voet tafel | $S_2$ w | $S_2$ 1 + W | $MS_4$ w | $MS_4$ 1 + W |
|---|---|---|---|---|
| 000°—009° | 1° | 1.06 | — 3° | 0.80 |
| 010 —019 | 1 | 1.05 | — 9 | 0.84 |
| 020 —029 | 2 | 1.05 | —14 | 0.91 |
| 030 —039 | 2 | 1.04 | —16 | 1.00 |
| 040 —049 | 3 | 1.03 | —16 | 1.00 |
| 050 —059 | 3 | 1.02 | —15 | 1.17 |
| 060 —069 | 3 | 1.02 | —12 | 1.23 |
| 070 —079 | 3 | 1.01 | — 9 | 1.27 |
| 080 —089 | 3 | 1.00 | — 5 | 1.28 |
| 090 —099 | 3 | 0.98 | — 1 | 1.27 |
| 100 —109 | 3 | 0.97 | 3 | 1.23 |
| 110 —119 | 3 | 0.97 | 7 | 1.17 |
| 120 —129 | 2 | 0.96 | 10 | 1.09 |
| 130 —139 | 2 | 0.95 | 13 | 1.00 |
| 140 —149 | 1 | 0.95 | 14 | 0.90 |
| 150 —159 | 1 | 0.94 | 13 | 0.80 |
| 160 —169 | 0 | 0.94 | 9 | 0.73 |
| 170 —179 | 0 | 0.94 | 3 | 0.68 |
| 180 —189 | — 1 | 0.94 | — 4 | 0.68 |
| 190 —199 | — 2 | 0.95 | —10 | 0.72 |
| 200 —209 | — 2 | 0.95 | —14 | 0.79 |
| 210 —219 | — 3 | 0.96 | —15 | 0.88 |
| 220 —229 | — 3 | 0.97 | —14 | 0.98 |
| 230 —239 | — 3 | 0.98 | —12 | 1.07 |
| 240 —249 | — 3 | 0.99 | — 8 | 1.15 |
| 250 —259 | — 3 | 1.00 | — 4 | 1.21 |
| 260 —269 | — 3 | 1.01 | 0 | 1.25 |
| 270 —279 | — 3 | 1.02 | 5 | 1.26 |
| 280 —289 | — 3 | 1.03 | 9 | 1.25 |
| 290 —299 | — 3 | 1.04 | 12 | 1.22 |
| 300 —309 | — 2 | 1.04 | 15 | 1.16 |
| 310 —319 | — 2 | 1.05 | 17 | 1.09 |
| 320 —329 | — 1 | 1.05 | 17 | 1.00 |
| 330 —339 | — 1 | 1.06 | 15 | 0.91 |
| 340 —349 | 0 | 1.06 | 11 | 0.84 |
| 350 —359 | 0 | 1.06 | 5 | 0.80 |

**Tafel Y2**

| θ van formule aan voet tafel | $N_2$ w | $N_2$ 1 + W |
|---|---|---|
| 000°—019° | 2° | 1.19 |
| 020 —039 | 5 | 1.17 |
| 040 —059 | 7 | 1.13 |
| 060 —079 | 9 | 1.08 |
| 080 —099 | 11 | 1.02 |
| 100 —119 | 11 | 0.95 |
| 120 —139 | 9 | 0.89 |
| 140 —159 | 7 | 0.84 |
| 160 —179 | 2 | 0.81 |
| 180 —199 | — 2 | 0.81 |
| 200 —219 | — 6 | 0.84 |
| 220 —239 | — 9 | 0.89 |
| 240 —259 | —11 | 0.95 |
| 260 —279 | —11 | 1.02 |
| 280 —299 | —10 | 1.08 |
| 300 —319 | — 7 | 1.13 |
| 320 —339 | — 5 | 1.17 |
| 340 —359 | — 2 | 1.19 |

Tafel Y2 θ = verschil in Astron. Arg.

θ voor $N_2$ = 3 × Astron. Arg. ($M_2$) minus 2 × Astron. Arg. ($N_2$)

Tafel Y1: θ = Astron. Arg.

$S_2$: θ = Astron. Arg. ($P_1$)

$MS_4$: θ = Astron. Arg. ($K_1$)

TAFEL 12

Dagelijkse verlating van het Dubbeldaagse Hoogwater

| Dag | $\frac{\text{Ampl. } S_2}{\text{Ampl. } M_2} = 0,3$ | | | $\frac{\text{Ampl. } S_2}{\text{Ampl. } M_2} = 0,5$ | | | $\frac{\text{Ampl. } S_2}{\text{Ampl. } M_2} = 0,7$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tijd HW | Dagelijkse verlating | Stand | Tijd HW | Dagelijkse verlating | Stand | Tijd HW | Dagelijkse verlating | Stand |
| 0 (spring) . | 0u 0m | | 1,3 $M_2$ | 0u 0m | | 1,5 $M_2$ | 0u 0m | | 1,7 $M_2$ |
| | | 38m | | | 32m | | | 28m | |
| 1 . . . . | 0 38 | | 1,3 „ | 0 32 | | 1,5 „ | 0 28 | | 1,7 „ |
| | | 40 | | | 33 | | | 29 | |
| 2 . . . . | 1 18 | | 1,2 „ | 1 5 | | 1,4 „ | 0 57 | | 1,6 „ |
| | | 40 | | | 36 | | | 30 | |
| 3 . . . . | 1 58 | | 1,1 „ | 1 41 | | 1,2 „ | 1 27 | | 1,4 „ |
| | | 47 | | | 40 | | | 33 | |
| 4 . . . . | 2 45 | | 1,0 „ | 2 21 | | 1,1 „ | 2 0 | | 1,1 „ |
| | | 52 | | | 47 | | | 38 | |
| 5 . . . . | 3 37 | | 0,9 „ | 3 8 | | 0,8 „ | 2 38 | | 0,9 „ |
| | | 1u 2 | | | 1u 4 | | | 55 | |
| 6 . . . . | 4 39 | | 0,8 „ | 4 12 | | 0,6 „ | 3 33 | | 0,6 „ |
| | | 1 11 | | | 1 34 | | | 2u 2 | |
| 7 . . . . (doodtij) | 5 50 | | 0.7 „ | 5 46 | | 0,5 „ | 5 35 | | 0,3 „ |
| | | 1 13 | | | 1 39 | | | 2 31 | |
| 8 . . . . | 7 3 | | 0,7 „ | 7 25 | | 0,5 „ | 8 6 | | 0,3 „ |
| | | 1 4 | | | 1 12 | | | 1 4 | |
| 9 . . . . | 8 7 | | 0,8 „ | 8 37 | | 0,7 „ | 9 10 | | 0,4 „ |
| | | 56 | | | 51 | | | 41 | |
| 10 . . . . | 9 3 | | 0,9 „ | 9 28 | | 0,9 „ | 9 51 | | 0,9 „ |
| | | 48 | | | 40 | | | 33 | |
| 11 . . . . | 9 51 | | 1,0 „ | 10 8 | | 1,1 „ | 10 24 | | 1,2 „ |
| | | 41 | | | 37 | | | 30 | |
| 12 . . . . | 10 32 | | 1,1 „ | 10 45 | | 1,3 „ | 10 54 | | 1,3 „ |
| | | 40 | | | 34 | | | 30 | |
| 13 . . . . | 11 12 | | 1,2 „ | 11 19 | | 1,4 „ | 11 24 | | 1,6 „ |
| | | 39 | | | 33 | | | 30 | |
| 14 . . . . | 11 51 | | 1,3 „ | 11 52 | | 1,5 „ | 11 54 | | 1,7 „ |
| | | 38 | | | 32 | | | 27 | |
| (spring) 15 . . . . | 12 29 | | 1,3 „ | 12 24 | | 1,5 „ | 12 31 | | 1,7 „ |

# XII. VERKLARENDE WOORDENLIJST

LIJST VAN DE MEEST VOORKOMENDE GEBRUIKELIJKE TERMEN (MET DEFINITIES) EN NOTATIES MET VERWIJZING NAAR DE PARAGRAFEN, WAARIN HET BETREKKELIJKE ONDERWERP GENOEMD WORDT

A

| | Paragraaf |
|---|---|
| $A_0$ = hoogte middenstand boven een onbekend vergelijkingsvlak; het wordt alleen gebruikt voor oude waarnemingen en is een algemene uitdrukking om het middenstandsvlak aan te geven. | 6.6 |
| AGGER (Agger (Gulder)) = de kleine stijging van de zeespiegel bij laagwater, welke stijging veroorzaakt wordt door ondiepwatergetijden. | 3.3 |
| AMPHIDROMISCHE PUNTEN (Amphidromic points (Nodal points), Points amphidromiques, Amphidromische Punkte) = punten, waar homokumenen samenkomen en waar het verval nul is. | 8.6, 8.7 |
| AMPLITUDE (Amplitude, Demi-amplitude, Amplitude) = het halve verval van een partieel getij. In analogie is het ook van toepassing op de maximum sterkte van een partiële getijstroom. | 1.8 |
| ANOMALISTISCH (Anomalistic) = heeft betrekking op de periodieke terugkeer van de maan tot het perigeum, of van de aarde tot het perihelium. De anomalistische maand is de gemiddelde omloopstijd van de maan om de aarde, gerekend t.o.v. het perigeum (± 27,554550 dag). Het anomalistisch jaar is de gemiddelde omloopstijd van de aarde om de zon, gerekend t.o.v. het perihelium (± 365,2596 dag). | |
| A.P. = Amsterdams Peil. | 6.3 |
| APHELIUM (Aphelion, Aphélie, Aphel (Sonnenferne)) = het punt van de aardbaan, waar de afstand zon—aarde het grootst is (± 1 Juli). | |
| APOGEUM (Apogee, Apogée, Apogäum (Erdferne)) = het punt van de maansbaan, waar de afstand aarde—maan het grootst is. | |
| APSIDEN (Apsides) = de punten van de baan van de maan of een planeet, welke het dichtst bij of het verst af liggen van het middelpunt van aantrekking. In de aardbaan heten zij perihelium en aphelium en in de maansbaan perigeum en apogeum. De lijn, getrokken door de apsiden van een baan, wordt genoemd de lijn der apsiden. | |
| ARGUMENT. Zie *astronomisch argument*. | |
| ARIËS (Vernal equinox, Equinoxe de printemps, —) = Zie *equinox*. | |
| ASTRONOMISCH ARGUMENT ($V_0$) = phase van een partieel getij volgens de evenwichtstheorie te $0^u$ M.T.G.<br>V = phase van een partieel getij volgens de evenwichtstheorie als de klimmende knoop van de maansbaan valt in Ariës.<br>u = de correctie op V voor de stand van de knopenlijn. | 1.8, 2.1 |

$V + u$ (Equilibrium argument, L'argument astronomique, Astronomisches Argument) = phase van een particel getij volgens de evenwichtstheorie op een willekeurig tijdstip.

$V_0 + u$ (Argument at epoch $0^h$, L'argument initial (à l'époque $0^h$), Argument für den Anfangszeitpunkt) = phase van een particel getij volgens de evenwichtstheorie te $0^u$ M.T.G.. In Nederlandse werken wordt deze phase direct als $V_0$ gegeven en genoemd „astronomisch argument". Het bedrag u is dan in $V_0$ opgenomen.

ASTRONOMISCHE LENGTE (Celestial longitude) = de boog van de ecliptica, gemeten vanaf Ariës, in de richting van de schijnbare beweging van de zon tot aan de astronomische breedtecirkel van het hemellicht.

ASTRONOMISCHE TIJD. Zie *zeevaartkundige tijd.*

AZIMUTH (Azimuth, Azimut, Azimut) = de hoek tussen het vlak van de hemelmeridiaan en het verticaalvlak van het hemellicht. De grootte kan ook worden aangegeven door de boog van de horizon, vanaf Noordpunt of Zuidpunt resp. door Oost of West (echter nooit groter dan 180°) tot het voetpunt van de verticaalcirkel van het hemellicht.

## B

BENO. Zie *vloedgolf.*

BURGERLIJKE TIJD (Civil time) = de tijd, waarbij de dag begint te tellen te $0^u$ middernacht (zulks in tegenstelling met de vroeger gebruikte zeevaartkundige tijd). Vroeger werden de uren geteld tot $12^u$, waarbij werd aangegeven of bedoeld werd voormiddag (VM) of namiddag (NM), thans telt men door tot $24^u$. Deze tijd wordt geregeld naar de middelbare zon en wordt ook genoemd de middelbare tijd.

## C

COMPONENT (Component) = dat deel van een kracht, dat, door ontbinding, in een bepaalde richting verkegen wordt. 1.7

COMPONENT-ETMAAL = Zie *getijdag.*

COMPONENT-UUR = Zie *getij-uur.*

CORIOLIS-VERSNELLING (Deflecting force of earth's rotation) = de versnelling, die men aan de versnellingen der werkende krachten moet toevoegen om de beweging t.o.v. de roterende aarde te verkrijgen. Deze versnelling is loodrecht op de snelheid, naar rechts op Noorderbreedte, naar links op Zuiderbreedte. 8.5

## D

DAGELIJKSE ONGELIJKHEID IN HOOGTE (TIJD) (Diurnal inequality (Declinational inequality), Inégalités diurnes, Tägliche Ungleichheiten) = de ongelijkheid in waterstanden (tijden) der opvolgende hoogwaters 5.1

of laagwaters, veroorzaakt door de veranderlijke declinatie van de maan en (in mindere mate) van de zon. In het algemeen neemt deze ongelijkheid toe met groter wordende declinatie, hetzij Noord of Zuid, en verdwijnt als de hemellichamen in de equator staan.
Deze ongelijkheid ontstaat door de enkeldaagse getijden $K_1$, $O_1$ en $P_1$.

DALENDE KNOOP. Zie *knopen*.

DALING (Fall, Baissée, Tidenfall) = het bedrag, dat de zeespiegel daalt onder een bepaald vlak, als regel het verschil in hoogte tussen LW en het voorafgaand HW. 6.14, 6.17

DECLINATIE (Declination, Déclinaison, Deklination) = de hoek, die de richting van een hemellicht maakt met het vlak van de equator. De zon vertoont een schommeling in declinatie met een periode van ± 365¼ dag.
Bij benadering kan men van de zon zeggen:

| | declinatie | rechte klimming |
|---|---|---|
| 21 Maart | 0° | $0^u$ |
| 21 Juni | 23°,5 N | $6^u$ |
| 21 September | 0° | $12^u$ |
| 21 December | 23°,5 S | $18^u$ |

De maan vertoont een schommeling in declinatie met een periode van ± 27⅓ dag (tropische maand), waarvan de maximum waarde afhangt van de lengte van de maan's klimmende knoop: de declinatie varieert van 28°,5 N tot 28°,5 S als de lengte van de knoop = 0°, en van 18°,5 N tot 18°,5 S als de lengte van de knoop = 180°. De klimmende knoop maakt in ± 18,6 jaar een volledige omwenteling in het vlak der ecliptica.

DEINING (Swell, Houle, Dünung) = een lange niet-brekende golf, meestal als gevolg van een storm op enige afstand.

DOODTIJ (Neap tide, Marée de morte eau, Nipptide) = het getij, dat ontstaat, wanneer de voornaamste getijcomponenten een getijbeweging met minimum verval geven. Bij het dubbeldaagse getij is dit omtrent de kwadraturen van de maan. 3.2, 3.4

DRAAIENDE GETIJSTROOM (Rotary current) = een getijstroom, die steeds blijft doorstaan en waarvan de kracht en de richting continu veranderen. De richting verandert in een getijperiode 360°. 8.8, 8.9

DRAAIKOLK (Eddy, Tourbillon (Remous), Stromwirbel) = draaiende beweging in het water van betrekkelijk geringe omvang.

DRACONITISCHE MAAND (Nodical month) = gemiddelde omloopstijd van de maan om de aarde met betrekking tot de maans klimmende knoop, welke ongeveer 27.212220 middelbare zonsdagen duurt. De knopenlijn volbrengt hierbij in 18,6 jaar een volledige omloop, waarbij zij de maan niet-eenparig tegemoet komt.

Paragraaf

DUBBELDAAGS (Semi-diurnal, Semi-diurne, Halbtägig) = noemt men getijverschijnselen, welke een periode hebben van ongeveer ½ dag. Een dubbeldaagse verticale getijbeweging geeft twee hoog- en twee laagwaters per dag. Het overheersende type getij over de gehele wereld is dubbeldaags, met 2 hoogwaters en 2 laagwaters per getijdag. Een getijstroom wordt dubbeldaags genoemd, als de stroom per dag tweemaal een maximum snelheid in een bepaalde richting en tweemaal een maximum snelheid in tegengestelde richting heeft. Het symbool voor een dergelijk partieel getij heeft meestal de index 2. — 1.6, 1.10, 3.2

DUBBELDAAGS GETIJ (Semi diurnal tide, Marée (onde) semi-diurne, Halbtägige Gezeit) = Zie *dubbeldaags*.

DUBBELE VLOEDKOP (Double tide) = het dubbele hoogwater, hetwelk ontstaat onder invloed van ondiepwatergetijden.

DUBBEL LAAGWATER (Double low waters, La double basse mer, Doppeltes Niedrigwasser) = het verschijnsel, waarbij het water na het bereiken van een laagste stand een kleine rijzing vertoont om daarna weer te dalen en dus twee tijdstippen van laagwater betrekkelijk kort na elkander vallen. — 3.3

DUUR DER STIJGING (DALING) (Duration of rise (fall), Durée de la montée (baisse), Dauer des Steigens (Fallens)) = het tijdsverloop tussen laag- (hoog-)water en hoog-(laag-)water. De duur der stijging en de duur der daling te zamen is ongeveer 12.42 uur bij dubbeldaagse getijden en 24.84 uur bij enkeldaagse. Bij een normaal dubbeldaags getij bedragen de duur der stijging en de duur der daling elk ongeveer 6.21 uur, maar in ondiep water en op rivieren zal gewoonlijk de duur der stijging afnemen en de duur der daling een gelijk bedrag toenemen. — 3.6, 6.17

## E

ECLIPTICA (Ecliptic) = de schijnbare baan van de zon aan de sfeer, of de snijlijn van het vlak van de aardbaan met de hemelsfeer. De ecliptica snijdt de hemelequator onder een hoek van ± 23°,5.

ENKELDAAGS (Diurnal, Diurne, Eintägig) = noemt men getijverschijnselen, welke een periode hebben van ongeveer één dag. Zo geeft een enkeldaags verticale beweging per dag één hoogwater en één laagwater; een draaiende getijstroom wordt enkeldaags genoemd, indien deze per dag 360° van richting verandert. Het symbool voor een dergelijk partieel getij geeft men de index 1. — 1.6, 1.10, 3.4

ENKELDAAGS GETIJ (Diurnal tide, Marée (onde) diurne, Eintägige (ganztägige) Gezeit) = Zie *enkeldaags*.

EQUINOX of dag- en nachtevening (Equinox, Equinoxe, Äquinoktium (Tagundnachtgleiche)) = de twee snijpunten van de ecliptica met de hemelequator. Zij heten Ariës (Ram of Lentepunt), waarin de zon omstreeks 21 Maart staat en Noorderdeclinatie krijgt, en Libra (Weegschaal of Herfstpunt), waarin de zon omstreeks 23 September

| | Paragraaf |
|---|---|
| staat en Zuiderdeclinatie krijgt. Omstreeks deze tijden zijn dag en nacht even lang. | |
| **Equipotentiaalvlak.** Zie *potentiaalvlak.* | |
| **Evenwichtsgetij** (Equilibrium tide, La marée statique, die Gleichgewichtsgezeit) = het hypothetische getij, dat volgens de evenwichtstheorie zou ontstaan onder invloed van het krachtenveld rond de aarde, veroorzaakt door maan en zon. | |
| **Evenwichtstheorie** of statische theorie (Equilibrium theory, La théorie de l'équilibre, die Gleichsgewichtstheorie) = de theorie gebaseerd op de hypothese, waarbij verondersteld wordt, dat een niet roterende aarde gelijkmatig bedekt is met een diepe zee en dat op elk ogenblik het wateroppervlak zich zo stelt, dat in elk punt van dit oppervlak de resultante der werkende krachten van maan, zon en aarde loodrecht staat op dit wateroppervlak. Wrijving, traagheid en ongelijkmatige verdeling van land en water worden hierbij verwaarloosd. | 1.1, 1.5 |
| **Excentriciteit** (Excentricity) = de verhouding van de afstand van het middelpunt tot het brandpunt en de halve grote as, of $\sqrt{1-(b/a)^2}$, waarin a en b resp. de halve grote as en de halve kleine as van de ellips zijn. De excentriciteit is voor de maansbaan 0,05490 en voor de aardbaan 0,01675. | |
| **G** | |
| **Gedwongen getijgolf** (Forced wave) = een getijgolf, welke opgewekt en continu onderhouden wordt door de getijkrachten zelve. | 8.2, 8.3 |
| **Gemengde getijden** (Mixed tides, Marées mixtes, Gemischte Gezeiten) = getijden, waarin noch het dubbeldaags karakter, noch het enkeldaags karakter overheerst. | 3.6, 3.7 |
| **Gemiddeld havengetal** (mean high water lunitidal interval (MHWI) (mean (or corrected) establishment of the port), Etablissement moyen, Mittleres Hochwasser Intervall (MHWI) (Mittlere( oder verbesserte) Hafenzeit)) = het gemiddelde van alle (hoogwater) maansverlopen, waardoor de invloed van het zonsgetij wordt geëlimineerd. | 3.2, 5.1, 6.14 |
| **Gemiddeld laag laagwater** (Mean lower low water, Hauteur moyenne des basses mers inférieures, Mittleres niedrigeres Niedrigwasser) | 6.11 |
| **Gemiddeld laagwater** (Mean low water, Basse mer moyenne, Mittleres Niedrigwasser.) | 6.11 |
| **Gemiddeld laag laagwaterspring** (gem. LLWS) (Mean lower low water springs, Hauteur moyenne des basses mers inférieures de vive-eau, Mittleres niedrigeres Springniedrigwasser) = het meerjarig gemiddelde (in de regel over 5 jaar, gelegen symmetrisch om een jaar van gemiddelde maximum maansdeclinatie) van het laagste springlaagwater van elke maand. Dit is het reductievlak van de Nederlandse zeekaarten van Nederland. | 6.7, 6.11 |

| | Paragraaf |
|---|---|
| GEMIDDELD LAAGWATERSPRING (Mean low water springs, Niveau de basse mer moyenne de vive-eau, Mittleres Springniedrigwasser). | 6.11 |
| GEMIDDELDE WATERSTAND Zie *middenstand*. | |
| GEMIDDELDE ZEESTAND. Zie *middenstand*. | |
| GETIJ (Tide, Marée, Tide (Gezeiten)) = het periodiek rijzen en vallen van het water als gevolg van de aantrekkingskracht van maan en zon. Alhoewel de daarmede gepaard gaande horizontale waterbeweging ook wel getij genoemd wordt, heeft het de voorkeur deze laatste getijstroom te noemen en de naam getij alleen te gebruiken voor de verticale beweging. | 1.1 |
| GETIJCONSTANTEN (Tidal constants, Constantes de Marée, Gezeiten Grundwerte) = de grootheden, waaruit de getijbeweging kan worden afgeleid. De grootheden (amplituden en g der partiële getijden), die de harmonische bewegingen bepalen, waaruit het getij kan worden samengesteld, heten meer in het bijzonder harmonische constanten. Grootheden, die op andere wijze de getijbeweging bepalen (havengetal, rijzing, verval) zijn de niet-harmonische constanten. Gebruikt men deze term zonder voorvoegsel, dan worden als regel uitsluitend de harmonische constanten bedoeld. | 2.2 |
| GETIJDAG (Constituent day) = de tijd, waarin een enkeldaags getij 360° en een dubbeldaags getij 720° in phase verandert. Men noemt dit ook wel een component-etmaal. | |
| GETIJ DIAGRAM (Tidal diagram, Abaque de marée, Gezeitendiagramme) = een grafische voorstelling van de beweging van een getij, waarbij op de X-as de tijd wordt aangegeven en op de Y-as de hoogte van het water. Ook wel genoemd getijkromme. | 6.14 |
| GETIJKRACHT (Tide generating force (Differential force), La force produisant la marée, Die Gezeiten erzeugende Kraft) = de kracht per massa eenheid, die de oorzaak is van de getijbeweging. Men noemt deze kracht ook wel de getijverwekkende kracht. | 1.2 |
| GETIJKROMME. (Tidal curve). Zie *getijdiagram*. | |
| GETIJMACHINE. Zie *getij-voorspelmachine*. | |
| GETIJMETER (Tide gauge, Marégraphe, Gezeitenpegel) = een instrument voor het meten van de rijzing en daling van het water. | |
| GETIJSTROOM (Tidal stream, Courant de marée, Gezeitenstrom) = horizontale waterbeweging, veroorzaakt door de getijverwekkende krachten van maan en zon, die tevens de verticale getijbeweging doen ontstaan. Zie ook *stroom*. | 4.6 |
| GETIJTAFEL (Tide table, Annuaire des marées, Gezeitentafel) = tafel, waarin van dag tot dag voor bepaalde plaatsen de tijden van hoog- en laagwater en tevens de waterstanden voor deze tijdstippen worden gegeven. | 4.5, 5.1, 5.2 |

| | Paragraaf |
|---|---|
| Getijtype (Species of constituent) = het soort van getij, geclassificeerd naar de periode. De belangrijkste getijtypen zijn dubbeldaags, enkeldaags en lang-periodiek. | 3.1 |
| Getijuur (Constituent hour) = één vier-en-twintigste getijdag. Men noemt dit ook wel een component-uur. | |
| Getijverwekkende kracht. Zie *getijkracht*. | 1.2 |
| Getijvoorspel-machine (Tide predicting machine, Machine à prédire les marées, Gezeitenrechenmachine) = een toestel bestemd voor het vooruitberekenen van het getij door mechanische sommering van de waarden der partiële getijden. | 7.5 |
| Gewijzigd kappagetal (g) (Phase lag g, La situation g, Phase P (360°—g)) = het kappagetal zodanig gewijzigd, dat op het astronomisch argument voor de meridiaan van Greenwich geen correctie voor de lengte van de plaats behoeft te worden toegepast, terwijl de tijdtelling gerekend wordt naar de voor de plaats gebruikelijke tijd (standaardtijd). | 2.1 |

## H

| | |
|---|---|
| H = laag laagwaterstroomtij (Basse basse mer de vive eau), het door België langs de kust gebezigde reductievlak, verkregen door over een bepaald tijdsverloop te nemen het gemiddelde der laagste laagwaterstanden te Ostende voor elke maansmaand. | 6.10 |
| Halfmaandelijkse ongelijkheid in hoogte (Phase inequality of height, Inégalité de phase de hauteur, Halbmonatliche Ungleichheit in Höhe) = de ongelijkheid in waterstanden van hoogwaters (laagwaters) per halve lunatie, veroorzaakt door het zich steeds wijzigende phaseverschil der samenstellende getijden. | 5.1 |
| Halfmaandelijkse ongelijkheid in tijd (Phase inequality of times, L'inégalité de phase des heures, Halbmonatliche Ungleichheit in Zeit) = het variërende tijdsverschil tussen het gemiddelde havengetal en het maansverloop voor opvolgende dagen, welk tijdsverschil in verband staat met de phase van $S_2$ op het moment van hoogwater $M_2$ en door de verhouding der amplituden van $S_2$ en $M_2$. Dit tijdsverschil vertoont een periodiek verloop met een periode van een halve lunatie. | 5.1 |
| Halftij of halftijvlak (Mean tide level, Niveau moyen de la marée, Mittelwasser) = het gemiddelde der hoog- en laagwaterstanden, bij voorkeur verkregen uit een lange serie waarnemingen. | 3.3, 6.2 |
| Harmonische analyse (Harmonic analysis, Analyse harmonique, Harmonische analyse) = de bewerking, waarbij een verticale of horizontale getijbeweging ontleed wordt in een serie harmonische partiële getijden. | 2.1, 2.2 |
| Harmonische constanten (Harmonic constants, Constantes harmoniques, Harmonische Konstanten) = de amplitude en het (gewijzigd) kappagetal van de partiële getijden voor een willekeurige plaats. | 2.2 |

| | Paragraaf |
|---|---|
| Havengetal (High water full and change (HWF&C) (Vulgar (or Common) establishment of the port), L'établissement du port, Das syzygiale Hochwasser (die gewöhnliche Hafenzeit)) = het tijdsverloop tussen maansbovendoorgang en het eerstvolgend hoogwater op de dag van nieuwe- of volle maan. Zie ook *gemiddeld en verbeterd havengetal.* | 3.2, 5.1, 6.14 |
| Helling van de ecliptica (Obliquity of the ecliptic) = de hoek, die de ecliptica maakt met het vlak van de equator. Deze bedraagt ongeveer 23°,45. | |
| Helling van de maansbaan (Obliquity of moon's orbit) = de hoek, die de maansbaan maakt met het vlak van de equator. Deze is afhankelijk van de lengte van de maans klimmende knoop (lengte 0°, helling 28°,6; lengte 180°, helling 18°,3). | |
| Hoeksnelheid van een partieel getij (n) (Speed of constituent, La vitesse angulaire de la composante, Die Winkelgeschwindigkeit der Tide) = de phaseverandering van een partieel getij per middelbaar zonsuur. De hoeksnelheid is gelijk aan 360° gedeeld door de omloopstijd uitgedrukt in middelbare zonsuren. | 1.8 |
| Homokumenen (Cotidal lines, Lignes cotidales, Linien gleicher Hochwasserzeiten) = lijnen getrokken over plaatsen, waar een bepaald partieel getij op hetzelfde tijdstip hoogwater geeft. | 8.6 |
| Hoog hoogwater (Higher high water, la pleine mer supérieure, Höheres Hochwasser) = het hoogste der twee hoogwaters tijdens een etmaal. | 3.6 |
| Hoog laagwater (Higher low water, La basse mer supérieure, Höheres Niedrigwasser) = het hoogste der twee laagwaters tijdens een etmaal. | 3.6 |
| Hoogwater (HW) (High water, La pleine mer, Hochwasser) = de maximum hoogte, welke bereikt wordt bij rijzend water. | |
| Hoogwaterlijn (High water line) = de snijlijn van gemiddeld hoogwater en de kust. | |

## I

| | |
|---|---|
| Indisch springlaagwater (Indian spring low water, Niveau de la basse mer de vive-eau, dite „de L'Indes", Indisches Springniedrigwasser). | 6.11 |
| Internationaal laagwater (International low water) = het reductievlak, waarvan de definitie is vastgesteld in de Conferentie van het Internationaal Hydrografisch Bureau in 1926. | 6.6 |

## J

| | |
|---|---|
| Jaarlijkse ongelijkheid (Annual inequality, Inégalité annuelle, Jährliche Ungleichheit) = seizoen-afwijkingen in de waterstanden (min of meer periodiek), hoofdzakelijk veroorzaakt door meteorologische invloeden. | 6.2 |

Paragraaf

K

KAPPAGETAL ($\varkappa$) (Phase lag $\varkappa$, La situation $\varkappa$, Phase $\varkappa$ für den Anfangszeitpunkt) = het bedrag in graden, dat de phase van het werkelijke partiële getij achter is op de phase van dat partiële getij volgens de evenwichtstheorie. Deze waarde wordt in U.S.A. genoemd „epoch". Zie ook *gewijzigd kappagetal* ($g$). 2.1

KELVIN-GOLF = lopende golf, waarin de afwijkingsversnellingen door de aardrotatie geen stroom loodrecht op de voortplantingsrichting geven, doch gecompenseerd worden door een helling van het wateroppervlak. 8.5

KLIMMENDE KNOOP (Ascending node, Noeud ascendant, Der aufsteigende Knoten) Zie *knopen.*

KNOPEN van de maansbaan (Lunar nodes, Les noeuds de la lune, Knoten) = de snijpunten van maansbaan en ecliptica. Na het passeren van de klimmende (dalende) knoop komt de maan ten Noorden (Zuiden) van de ecliptica. Het vlak van de maansbaan maakt met het vlak van de ecliptica een hoek van gemiddeld 5° 9′. Het vlak van de maansbaan draait met behoud van zijn helling in ± 18,6 jaar om de loodlijn op het eclipticavlak. Daarmede maakt de knopenlijn in ± 18,6 jaar een omwenteling in het vlak der ecliptica.

KWADRATUUR (Quadrature, Quadrature, Quadratur) = een term, welke gebruikt wordt, als twee hemellichamen 90° in astronomische lengte met elkaar verschillen, meer in het bijzonder van de maan t.o.v. de zon. De kwadraturen van de maan zijn eerste en laatste kwartier.

L

LAAG HOOGWATER (Lower high water, La pleine mer inférieure, Niedrigeres Hochwasser) = het laagste der twee hoogwaters tijdens een etmaal. 3.6

LAAG LAAGWATER (Lower low water, La basse mer inférieure, Niedrigeres Niedrigwasser) = het laagste der twee laagwaters tijdens een etmaal. 3.6

LAAG LAAGWATERSTROOMTIJ. Zie H.

LAAGST WAARGENOMEN LAAGWATER (Lowest possible low water, Niveau de la plus basse mer possible, Niedrigstes mögliches Niedrigwasser). 6.11

LAAGWATER (LW) (Low water, La basse mer, Niedrigwasser) = de minimum hoogte, welke bereikt wordt bij vallend water.

LAAGWATERSPRING (LWS) (Low water spring, Niveau de la basse mer de vive-eau, Springniedrigwasser) = de laagwaterstand bij springtij. 3.6
LWS wordt ook gebruikt ter aanduiding van het reductievlak der Nederlandse kaarten van de Oost-Indische Archipel, Suriname en de Ned. Antillen, n.l. het gemiddelde van de halfjaarlijkse springlaagwaters. Als zodanig wordt het in het Engels aangegeven met „Mean halfyearly low water springs". 6.8, 6.9, 6.11

Paragraaf

LANGPERIODIEK GETIJ. (Long-period constituent) = een partieel getij met een periode, welke onafhankelijk is van de draaiing van de aarde om haar as, doch afhangt van de beweging van de maan of van de aarde in haar baan. De belangrijkste langperiodieke getijden van de maan hebben een periode van ongeveer 1 maand en een ½ maand, van de zon een jaar en een ½ jaar. | 1.8, 1.10

LEEFTIJD van het getij (The age of the tide, L'âge de la marée, Das Alter der Gezeit (Springverspätung)) = | 3.2, 3.4, 5.1, 6.14

*a.* voor dubbeldaagse getijden: het gemiddelde tijdsverloop tussen de tijd van Nieuwe Maan of Volle Maan en de tijd van het daaropvolgend springhoogwater van het dubbeldaagse getij of groep.

*b.* voor enkeldaagse getijden: het gemiddelde tijdsverloop tussen de tijd van maan's maximum declinatie en het daaropvolgend springhoogwater van het enkeldaagse getij of groep.

LENGTE (Longitude, Longitude, Länge) = de boog gemeten langs een grootcirkel vanaf een aangenomen beginpunt tot de projectie van het betrekkelijke punt op die cirkel. Op de aardbol is dit de boog gemeten langs de equator vanaf de meridiaan van Greenwich tot de meridiaan van de beschouwde plaats. Deze kan opgegeven worden in graden of uren, het uur gerekend op 15° lengteverschil. Gewoonlijk rekent men de lengte Oost of West tot 180°. Zie ook *astronomische lengte.*

LIBRA (Autumnal equinox, Equinoxe d'automne, ——). Zie *equinox.*

LOGLIJN (Log line) = een verdeelde lijn voor het bepalen van de snelheid van een schip door het water of de stroomsterkte bij ten anker liggend vaartuig. | 7.4

LOPENDE GOLF (Progressive wave, Onde progressive, Fortschreitende Welle) = een golf, waarvan het profiel zich met eenparige snelheid verplaatst, doch niet van vorm verandert. | 8.1

LUNATIE (Lunation, Lunaison, Mondumlauf) = zelfde als synodische maand. Zie *synodisch.*

## M

$M_0$ = hoogte halftij boven het reductievlak. | 6.6

MAAND (Month, Mois, Monat) = de omloopstijd van de maan om de aarde. Men onderscheidt de siderische-, tropische-, anomalistische-, draconitische- en synodische maand naar gelang de omloop gerekend wordt t.o.v. een vast punt van de sfeer, Ariës, het perigeum, de klimmende knoop of de zon. De kalendermaand is een ruwe benadering van de synodische maand.

MAANSDAG (Lunar day) = de tijdsduur tussen twee opvolgende maansbovendoorgangen door de meridiaan van dezelfde plaats. De gemiddelde maansdag is ongeveer 24,84 middelbare zonsuren of 1,035 middelbare zonsdag.

Paragraaf

Maansgetij (Lunar tide, L'onde lunaire, Mondtide) = dat gedeelte van het getij, dat door de maan veroorzaakt wordt. | 1.8, 1.10

Maansmaand (Lunar month). Zie *synodische maand.*

Maanstijd (Lunar time) = de tijd, welke gebaseerd is op de uurhoek van de maan. Zie *maansdag.*

Maansverloop (Lunitidal interval, L'établissement (l'intervalle, le retard), Intervall) = het tijdsverloop tussen maansbovendoorgang en het daaropvolgend hoog- of laagwater op een willekeurige dag. Indien niet speciaal vermeld, wordt bedoeld het hoogwater-maansverloop. | 3.2, 5.1, 6.14

Maans-zonsdeclinatiegetij (Luni-solar tide, L'onde luni-solaire, Mond-Sonnen-tide) = getijbeweging, die ontstaat zowel door de declinatieverandering van de maan als door die van de zon. In de ontwikkeling van de getijkrachten blijkt dit getij te bestaan uit de getijden $K_1$ en $K_2$, resp. met de perioden van een sterredag en $\frac{1}{2}$ sterredag, perioden, die onafhankelijk zijn van de bewegingen van maan en zon. | 1.10

Meteorologische getijden (Meteorological constituents, Les ondes météorologiques, Meteorologische Tiden) = partiële getijden, die hun ontstaan te danken hebben aan dagelijkse- of seizoen-wisselingen in weersomstandigheden, welke een zekere periodiciteit vertonen. De belangrijkste meteorologische getijden zijn $S_a$ (annual), $S_{sa}$ (semi-annual) en $S_1$ (dagelijks).

Middelbare tijd (Mean time) = de tijd gerekend naar de uurhoek van de middelbare zon, zulks in tegenstelling tot de ware tijd, welke gerekend wordt naar de ware zon. Het verschil tussen de middelbare en ware tijd heet tijdvereffening.

Middelbare zon (Mean sun, ——, Mittlere Sonne) = een denkbeeldige zon, welke verondersteld wordt met eenparige snelheid, corresponderende met de gemiddelde hoeksnelheid van de ware zon in de ecliptica, de hemelequator te doorlopen.

Middelbare zonsdag (Civil day, ——, Mittlerer Sonnentag) = de tijdsduur tussen twee opeenvolgende benedendoorgangen van de middelbare zon en bestaat uit 24 middelbare zonsuren.

Middenstand of middenstandsvlak (Mean sea-level (MSL), le niveau moyen de la mer, Mittlerer Wasserstand) = het gemiddelde der waterstanden verkregen uit (bij voorkeur een lange serie) waarnemingen met gelijke korte tijdsintervallen. Rijkswaterstaat noemt dit de „gemiddelde zeestand" of „gemiddelde waterstand". | 3.3, 6.2, 6.13

Middenstandsverhang = het verschil in hoogte tussen de middenstandsvlakken van twee plaatsen, vergeleken met een bepaald horizontaal vlak. | 6.2

Paragraaf

## N

N Zie *hoeksnelheid.*

N.A.P. = Normaal Amsterdams Peil, het vergelijkingsvlak in Nederland. 6.3

NEER (——, Contre-courant, Neerstrom (Gegenstrom)) = water, dat zich tegengesteld aan de richting van de hoofdstroom beweegt. De oorzaak kan zijn een in de hoofdstroom uitstekende dam.

NEVENGETIJDEN (Overtides, Les ondes supérieures (harmoniques), Obertiden) = partiële getijden, die een hoeksnelheid hebben, welke een veelvoud is van die van het hoofdgetij. Zie *ondiepwatergetijden.* 2.1, 3.3

NIET-HARMONISCHE CONSTANTEN (Nonharmonic constants) = getijgegevens, zoals leeftijd, havengetal, verval enz., die gewoonlijk uit getijwaarnemingen zijn afgeleid zonder gebruik te maken van de harmonische constanten.

NIVEAUVLAK. Zie *potentiaalvlak.*

N.N. = Normal Null, het vergelijkingsvlak in Pruisen. 6.3, 6.4

## O

O.D.G. = Zéro du Dépot de la Guerre, een vergelijkingsvlak in België. 6.4

OMLOOP (Cycle, Cycle, Zeitkreis) = het volbrengen van een volledige beweging, waarbij teruggekeerd wordt tot het punt van uitgang, b.v. doorlopen van een baan in de sfeer; een draaiende getijstroom, die 360° in richting verandert, enz.

OMLOOPSTIJD (Period, Période, Periode) = de tijd benodigd voor het volbrengen van een volledige omloop.

ONDERSTROOM (Undertow) = een zeewaarts gerichte stroom nabij de zeebodem op een glooiend strand. Het wordt veroorzaakt door het teruglopen (onder invloed van de zwaartekracht) van het op de kust opgeworpen water.

ONDIEPWATER GETIJDEN (Shallow water constituents, Les ondes des petits fonds, Seichwassertiden) = ontstaan doordat van getijgolven, welke op ondiepwater komen, de beweging van het golfdal meer vertraagd wordt dan die van de golftop. Men onderscheidt deze getijden in nevengetijden en samengestelde getijden. 2.1

ONGELIJKHEID. Zie *dagelijkse, halfmaandelijkse en jaarlijkse ongelijkheid.*

O.N.G.F. = Zéro du nivellement géneral de la France (Bourdaloue), het vergelijkingsvlak in Frankrijk. 6.5

OVEREENGEKOMEN LAGE RIVIERSTAND (O.L.R.) = het reductievlak, gebruikt door de Rijkswaterstaat, op de Rijn en zijn takken tot aan het getijgebied.

Paragraaf

OVEREENGEKOMEN LAGE WATERSTAND (O.L.W.) = het reductievlak, gebruikt door de Rijkswaterstaat op de benedenrivieren, waarvan de onderschrijdingsfrequentie een geleidelijke overgang vormt van die van de O.L.R. der bovenrivieren tot die van het gem. L.L.W.S. 6.7

## P

PARALLAX (Parallax, Parallaxe, Parallaxe) = bij getijwerk de horizontale parallax, dat is de grootste hoek, waaronder vanuit een hemellichaam de straal der aarde wordt gezien.

PARTIEEL GETIJ (Constituent (Component), Onde composante, Teilwelle) = de getijbeweging volgens de evenwichtstheorie wordt ontleed in een serie partiële getijden, die elk een harmonische beweging veroorzaken, welke beweging wordt uitgedrukt door de formule: getijhoogte = amplitude × cos phase. 1.8, 1.10

PEILSCHAAL (Tide pole (tide staff), Echelle de marée, Lattenpegel (Skalenpegel)) = een, meestal in decimeters, verdeelde lat voor het aflezen van waterstanden. 6.14

PERIGEUM (Perigee, Périgée, Perigäum (Erdnähe)) = het punt van de maansbaan, waar de afstand aarde—maan het kleinst is.

PERIHELIUM (Perihelion, Périhélie, Perihelium (Sonnennähe)) = het punt van de aardbaan, waar de afstand zon—aarde het kleinst is (± 1 Januari).

PERIODE (Period, Période, Periode) = tijdsverloop, waarin een veranderlijke grootheid weer dezelfde waarden in dezelfde volgorde verkrijgt.

PHASE (Phase, Phase, Phase) = (1) elke zich herhalende stand van een periodiek verschijnsel, b.v. nieuwe maan, hoogwater, maximum stroomsterkte enz., (2) een hoekwaarde, die de toestand van een periodiek verlopende grootheid bepaalt. Bij een harmonisch verlopende getijbeweging verandert de phase 360° in een getijperiode en rekent men bij hoogwater phase = 0°, bij laagwater 180°.

PLAATSELIJKE TIJD (Local time, Temps local, Ortszeit) = de tijd, waarbij de middag valt bij zonsbovendoorgang door de meridiaan van de plaats, zulks in tegenstelling tot standaardtijd, welke betrekking heeft op doorgang door de standaardmeridiaan. Men spreekt van plaatselijke ware of middelbare tijd naar gelang de tijd geregeld is naar de ware of middelbare zon. Plaatselijke tijd is nagenoeg overal ter wereld vervangen door standaard tijd.

POTENTIAALVLAK = het vlak, dat loodrecht staat op de resultante van getijversnelling en versnelling der zwaartekracht van de aarde. Dit vlak wordt ook wel genoemd equipotentiaalvlak of niveauvlak. 1.4

Paragraaf

## R

**Reductievlak** (Chart datum, Le zéro de la carte (zéro hydrographique), Kartennull (K.N.)) = het vlak, waartoe alle diepten op de kaart herleid worden. De ligging van het reductievlak onder de middenstand wordt weergegeven door $Z_0$. — 6.6, 6.10, 6.11, 6.12, 6.14, 6.15

**Registrerende getijmeter** (Automatic tide-gauge, Marégraphe automatique, Schreibpegel) = een toestel, dat automatisch het rijzen en vallen van het water registreert. — 7.1

**Richting ebstroom** (Ebb axis) = gemiddelde richting van de maximum ebstroom.

**Richting vloedstroom** (Flood axis) = gemiddelde richting van de maximum vloedstroom.

**Rijzing** boven reductievlak (The rise of the tide, La hauteur de la marée au moment de la pleine mer, Hochwasserhöhe) = de hoogte van het hoogwater boven het reductievlak. — 6.14

## S

$S_0$ = hoogte middenstand boven nulpunt peilschaal. — 6.6

**Samengestelde getijden** (Compound tides, Les ondes composées, Verbundtiden (zusammengesetzte Tiden)) = partiële getijden, die een hoeksnelheid hebben, welke gelijk is aan de som of het verschil der hoeksnelheden van de samenstellende hoofdgetijden. Zie *ondiepwatergetijden.* — 2.1

**Seiche** (Seiche, Seiche, Seiche) = een natuurlijke oscillatie van korte periode, in beweging gezet door toevallige oorzaken in generlei verband staande met de getijden, voorkomende in een baai of golf. — 8.1

**Siderisch jaar** (Sidereal year, Année sidérale, Siderisches Jahr) = gemiddelde omloopstijd van de aarde rond de zon met betrekking tot een vast punt van de ecliptica. Het gemiddelde bedrag is 365,2564 middelbare zonsdagen.

**Siderische maand** (Sidereal month, Mois sidéral, Siderische Monat) = gemiddelde omloopstijd van de maan rond de aarde met betrekking tot een vast punt van de sfeer. De gemiddelde waarde bedraagt 27, 321 661 middelbare zonsdagen.

**Solstitiën** of zonnestilstandspunten (Solstices, Solstices, Solstitium (Sonnenwenden)) = de twee punten in de ecliptica, waar de zon een maximum Noorder (± 21 Juni) of Zuider (± 22 December) declinatie bereikt.

**Springtij** (Springtide, Marée de vive-eau, Springtide) = het getij, dat ontstaat, wanneer de voornaamste getijcomponenten een waterbeweging met maximum verval geven. Bij het dubbeldaagse getij is dit omtrent de tijden van nieuwe en volle maan. — 3.2, 3.4

Paragraaf

STAANDE GOLF (Stationary wave, Onde stationnaire, Stehende Welle) = een golf, waarbij het profiel zich niet verplaatst, doch wel van vorm verandert; m.a.w. de knopen blijven op dezelfde plaats, terwijl daartussen het water rijst en daalt. 8.1

STANDAARD TIJD (Standard time, Heure légale, Gesetzliche Zeit) = de tijd, voor een standaardmeridiaan, die voorgeschreven is in een bepaald gebied. Deze standaardmeridiaan behoeft niet noodzakelijk een vol aantal uren met M.T.G. te verschillen. Als voorbeelden worden genoemd Midden-Europese Tijd (M.E.T. = M.T.G. + $1^u$) en West-, Midden- en Oost-Indonesische tijd (= M.T.G. + resp. $7^u$, $8^u$ en $9^u$).

STATISCHE THEORIE. Zie *evenwichtstheorie.*

STERREDAG (Sidereal day, Jour sidéral, Sterntag) = de tijd, die verloopt tussen twee bovendoorgangen van een vast punt der sfeer en is ongeveer 0,99727 middelbare zonsdag.

STERRETIJD (Sidereal time, Temps sidéral, Sternzeit) = de Westelijke uurhoek van het punt Ariës.

STILTIJ (Stand of tide, Étale de la marée, Stillstand der Gezeit) = het tijdsverloop in de verticale getijbeweging nabij hoog- of laagwater, waarbij geen wijziging in waterhoogte waarneembaar is.

STILWATER (Slack water, Étale du courant, Stauwasser (Stillwasser)) = het tijdstip, wanneer er geen of nagenoeg geen getijstroom bestaat. Het verband tussen stilwater en verticale getijbeweging is verschillend voor verschillende plaatsen op aarde.

STROOM (Stream, Courant, Strom) = een constante waterbeweging, direct of indirect veroorzaakt door de wind enz. (b.v. Golfstroom). Zie ook *getijstroom.*

STROOMMETER (Currentmeter, Appareil pour la mesure des courants, Strommesser) = een instrument voor het meten van de richting en sterkte van de stroom. 7.3, 7.4

STROOMRAFELING (Overfalls, Remous, Stromkabbelung) = brekende golfjes als gevolg van stromend water over een onderwater gevaar of bij het ontmoeten van een tegengesteld gerichte stroom.

STROOMRICHTING (Direction of current) = richting waarin de stroom trekt. 7.2

STROOMSTERKTE (Drift of current) = de snelheid van de stroom, welke meestal wordt uitgedrukt in zeemijlen per uur.

STIJGING (Rise, Montée, Tidensteig) = de verheffing van de zeespiegel boven een bepaald vlak, als regel van HW boven het voorafgaand LW. 6.14, 6.17

SYNODISCH (Synodic, Synodique, Synodisch) = heeft betrekking op het tijdsverloop tussen twee opvolgende conjuncties of opposities van een planeet en de zon. De synodische maand is het gemiddelde tijdsverloop

tussen twee gelijke phasen van de maan. Zij bedraagt gemiddeld 29,530588 middelbare zonsdagen en wordt ook wel lunatie genoemd. Na 235 lunaties (± 19 jaar) vallen nieuwe en volle maan weer op dezelfde dag van het jaar.

SYNODISCHE MAAND. Zie *synodisch*.

SYZYGIE (Syzygy, Syzygie, Syzygie) = een term, welke gebruikt wordt als twee hemellichamen in conjunctie of oppositie zijn, meer in het bijzonder van de maan t.o.v. de zon. De syzygiën van de maan zijn nieuwe en volle maan.

## T

TROPISCHE MAAND (Tropical month) = de gemiddelde omloopstijd van de maan rond de aarde met betrekking tot het punt Ariës. De duur is ongeveer 27,321582 middelbare zonsdagen.

TROPISCH JAAR (Tropical year) = de gemiddelde omloopstijd van de aarde rond de zon met betrekking tot het punt Ariës. De duur is gemiddeld 365,2422 dagen. Het kalenderjaar is geregeld naar het tropisch jaar met van tijd tot tijd inschakeling van een extra dag op de schrikkeljaren.

TIJD (soorten) (Time (kinds)) = de tijd wordt geregeld naar de uurhoek van een bepaald hemellicht of een bepaald punt van de sfeer en kan aangeduid worden als sterretijd, zonnetijd of maanstijd, al naar gelang de regeling plaats heeft met betrekking tot het punt Ariës, de zon of de maan. Zonnetijd kan zijn waar of middelbaar, naar gelang de ware dan wel de middelbare zon het referentiepunt is. Middelbare zonnetijd kan zijn plaatselijk of standaard, naar gelang de tijdregeling plaats heeft t.o.v. de zonsdoorgang door de meridiaan van de plaats of een bepaalde meridiaan, welke als standaard meridiaan wordt aangenomen voor een bepaald gebied. Greenwichtijd is standaardtijd gebaseerd op de meridiaan van Greenwich. De burgerlijke tijd begint te middernacht te tellen; de zeevaartkundige (astronomische) tijd, welke vanaf 1925 niet meer gebruikt wordt, begon op de middag van de burgerlijke dag van dezelfde datum te tellen.

TIJDMERIDIAAN (Time meridian) = de meridiaan t.o. waarvan de tijd, met betrekking tot de stand van de zon, voor een bepaalde plaats of gebied geregeld wordt. Zie ook *standaardtijd* en *zônetijd*.

TIJDVEREFFENING (Equation of time) = het verschil tussen middelbare tijd en ware tijd.

## U

U Zie *astronomisch argument*.

## V

$V_0$ Zie *astronomisch argument*.

| | Paragraaf |
|---|---|
| VERACHTERING van het getij (Lagging of tide, La marée perd sur la lune, Gezeitenverspätung) = het periodiek toenemen van het gemiddelde interval ($12^u$ $25^m$) tussen de tijden der opvolgende hoog- en laagwaters, veroorzaakt door de relatieve standen van zon en maan. | 5.1 |
| VERBETERD HAVENGETAL = het gemiddelde tijdsverloop tussen maansbovendoorgang en het eerstvolgend hoogwater op de dag van springtij, en is dus gelijk aan het gemiddeld havengetal. Het buitenland maakt geen onderscheid tussen deze twee benamingen. | 6.14 |
| VERGELIJKINGSVLAK (Plane of reference or datum, Plan de référence ou zéro, Nullebene) = het nulvlak, waartoe alle verticale metingen worden teruggebracht. | 6.1, 6.3, 6.4, 6.5 |
| VERKENMERK der waterpassing (Benchmark, Repère de nivellement, Pegelfestpunkt) = een vast punt aan de wal, gebruikt voor het aangeven van een bepaald niveau. | 6.1 |
| VERVAL (The range of the tide, L'amplitude de la marée, Tidenhub (T.H.)) = het hoogteverschil der waterstanden van twee opeenvolgende hoog-(laag-)waters en laag-(hoog-)waters. Rijkswaterstaat noemt dit het „tijverschil". | 6.7, 6.14 |
| VERVROEGING van het getij (Priming of tide, La marée gagne sur la lune, Gezeitenverfrühung) = het periodiek afnemen van het gemiddelde interval ($12^u$ $25^m$) tussen de tijden der opvolgende hoog- en laagwaters, veroorzaakt door de relatieve standen van zon en maan. | 5.1 |
| VLOEDGOLF of Beno (Bore (eagre), Le mascaret (barre), Gezeitenbrandung (Sprungwelle, Bore)) = een bijzonder getijverschijnsel, dat in bepaalde riviermonden en op sommige rivieren voorkomt en zich voordoet als een zich snel voortplantende, brekende golf bij rijzend water. | |
| VRIJE GOLF (Free wave) = een golf, welke (met verwaarlozing van wrijving) blijft voortbestaan, als de oorzaken van de evenwichtsstoring hebben opgehouden te bestaan | 8.1 |
| **W** | |
| WARE TIJD (Apparent time) = de tijd gerekend naar de uurhoek van de ware zon, zulks in tegenstelling tot de middelbare tijd, welke gerekend wordt naar een denkbeeldige middelbare zon, die met eenparige snelheid de hemelequator doorloopt. Het verschil tussen ware en middelbare tijd heet tijdvereffening. | |
| **Z** | |
| Z = Zéro des Ponts et Chaussées, een vergelijkingsvlak in België. | 6.4 |
| $Z_0$ = hoogte middenstand boven het reductievlak. | 6.6 |
| ZEEVAARTKUNDIGE (ASTRONOMISCHE) TIJD (Astronomical time) = de tijd, welke vroeger gebruikt werd voor astronomische becijferingen en | |

Paragraaf

gerekend werd vanaf de middelbare middag. De klok werd dus geregeld naar de westelijke uurhoek van de middelbare zon. De zeevaartkundige dag begon op de middag van dezelfde datum als de burgerlijke dag. In 1925 is men van deze zeevaartkundige tijdrekening overgegaan op de middelbare.

ZOMERTIJD (Summer time) = een speciale tijd, welke in bepaalde landen gedurende de zomermaanden wordt ingevoerd, door de klok b.v. 1 uur vooruit te zetten.

ZÔNE TIJD (Zone time, Fuseau horaire, Zone gleicher Zeit) = de tijd, die geregeld wordt naar meridianen, die een vol aantal uren met M.T.G. verschillen en geldt voor plaatsen, die tot 7°,5 lengteverschil met deze meridiaan hebben. Zie ook Standaard Tijd.

ZONNETIJD (Solar time) = de tijd, welke geregeld wordt naar de uurhoek van de zon. De ware tijd heeft betrekking op de ware zon; de middelbare tijd op de middelbare zon. Men onderscheidt ook plaatselijke-, standaard- en Greenwich-tijd naar gelang de uurhoek gerekend wordt t.o.v. de plaatselijke-, standaard- of Greenwichmeridiaan.

ZONSDAG (Solar day) = de omloopstijd van de aarde met betrekking tot de zon.

ZONSGETIJ (Solar tide, L'onde solaire, Sonnentide) = dat gedeelte van het getij, dat door de zon veroorzaakt wordt. 1.9, 1.10

# LITERATUUROPGAVE

ALGEMENE DIENST VAN DE RIJKSWATERSTAAT. 1944. Tienjarig overzicht 1931—1940 der waterhoogten langs Zeeuwsche stromen, Noordzee, Lauwerszee, Eemsmond, Hoofdrivieren en IJselmeer.

CARBIN, L. C. 1926. De getijregel „van Roon". *Marineblad.*

DRONKERS, J. J. 1947. Methoden van getijberekening. *De Ingenieur.* 50e Jaargang n°. 49.

HAVERKAMP, P. 1934. Zeevaartkundige tafels. Departement van Defensie.

VAN ROON, J. 1925. Enkele vraagstukken uit de getijleer. *De Zee.* 47e Jaargang.

VAN ROON, J. 1942. Analyse van de getijbeweging volgens de Admiralty Methode. *De Zee.* 64e Jaargang.

VAN ROON, J. 1946. De getijstromen. Uitgave Stichting de Zee.

VAN ROON, J. en HAVERKAMP, P. 1947. Leerboek der zeevaartkunde. Derde deel.

ADMIRALTY tide tables, part I & II.

DOODSON, A. T. 1927. The analysis of tidal observations. Phil. Trans. Roy. Soc., A 227, blz. 223—279.

DOODSON, A. T. and WARBURG, H. D. 1941. Admiralty manual of tides.

DOODSON, A. T. and WARBURG, H. D. 1941. Instructions for predicting tides and tidal streams and for analysing observations and tables to assist prediction and analysis. *The Admiralty tide tables,* part III.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC BUREAU, Monaco.

(*a*) 1926. Tide predicting machines. *Special publication n°.* 13.

(*b*) 1932—'34 Vocabulary concerning tides. *Special publication n°.* 28 en 28*a*.

(*c*) 1946 Hydrographic Dictionary. *Special publication n°* 32.

MARMER, H. A. 1926. The tide. Appleton & Co., New York and London.

SCHUREMAN, P. 1941. Manual of harmonic analysis and prediction of tides. U.S. Coast and Geodetic Survey, *Special publication n°.* 98.

SCHUREMAN, P. 1941. Tide and current glossary, U.S. Coast and Geodetic Survey. *Special publication* n°. 228.

COURTIER, A. 1938. Marées. Service hydrographique de la Marine.

BÖRGEN, C. 1906. Anstellung von Beobachtungen über Ebbe und Flut. *Dr. von Neumayer's Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen.*

THORADE, H. 1931. Probleme der Wasserwellen. *Probleme der Kosmischen Physik.* Henri Grand, Hamburg.

THORADE, H. 1941. Ebbe und Flut. *Verständliche Wissenschaft.* 64e Deel. Julius Springer, Berlijn.